Ignat Jan

Gălăţanu D. Cătălin

OBSERVABILITATEA

REDMT

Reţelelor
Electrice
de
Distribuţie
de
Medie
Tensiune

EDITURA VENTURA
1995

Scanned with OKEN Scanner

dr.ing. Jan IGNAT ing.Cătălin-D. GALATANU

OBSERVABILITATEA
RETELELOR ELECTRICE DE DISTRIBUTIE
DE
MEDIE TENSIUNE

Editura VENTURA
Iaşi

1995

Scanned with OKEN Scanner

Autorii mulţumesc
pentru sprijinul material ce a permis apariţia acestei lucrări:

S.C. INCOM S.A.
IASI

S.C. PROMETEU
IASI

Contribuţia autorilor:

dr.ing. Jan IGNAT : cap. 1-7, 8 (fără § 8.1.3.3.), 9;
ing. Cătălin-D. GALATANU : cap. 2, § 8.1.3.3.

Tehnoredactare computerizată: ing. Jenica Pârâu, ing. Arnaldo Ţăranu,
Dinu Căpăţână

Scanned with OKEN Scanner

CUPRINS

Listă de abrevieri 8
Prefață 9
Cap.1 Rețeaua electrică de distribuție, componentă a unui sistem electromagnetic - cerințe și probleme actuale. 11
Cap.2 Rețeaua electrică de distribuție subsistem a a unui sistem mare. 15
2.1 Conceptul de sistem mare. 16
2.2 Modelarea rețelelor electrice de distribuție de medie tensiune. 20
2.3 Conceptul şi proprietatea de decompozabilitate. ... 24
2.4 Conceptul şi proprietatea de controlabilitate. 27
2.5 Conceptul şi proprietatea de observabilitatate. 29
2.6 Limitele modelului canonic al rețelelelor electrice de distribuție de medie tensiune. 31
Cap.3 Observabilitatea, componentă a conceptului de siguranță în funcționare. 38
3.1 Factorii care definesc siguranța în funcționare. 38
3.2 Conceptul integrat de disponibilitate, fiabilitate şi mentenanță. 42
3.2.1 Premizele realizării indicatorilor de disponibilitate prognozați prin proiect 44
3.2.2 Conducerea şi exploatarea - activități ce asigură nivelul de disponibilitate prognozat 45
3.3 Siguranța în funcționare. 47
Cap.4 Observabilitatea RED - MT, conținut, necesități şi posibilități. 49
4.1 Soluții de încadrare în sistemul electroenergetic a RED - MT. 49
4.2 Analiza RED-MT din punct de vedere a observabilității. 51

Scanned with OKEN Scanner

4.2.1 Natura mărimilor ce trebuiesc observate. 52
4.2.2 Influenţa configuraţiei asupra observabilităţii RED - MT. 54
4.2.2.1 RED-MT urbane 54
4.2.2.2 RED-MT industriale 60
Cap.5. Regimuri de funcţionare ale reţelelor electrice de distribuţie de medie tensiune. 66
5.1Tipuri de RED - MT. 66
5.2 Regimul normal de funcţionare. 69
5.2.1 Reţele cu neutrul izolat. 73
5.2.2 Reţele cu neutrul compensat. 74
5.2.3 Reţele cu neutrul legat la pământ prin rezistenţă limitatoare. 76
5.3 Regimul de defect. 77
5.3.1 Defectul monofazat. 80
5.3.1.1 Reţele cu neutrul izolat. 83
5.3.1.2 Reţele cu neutrul compensat. 88
5.3.1.3 Reţele cu neutrul legat la pământ prin rezistenţă limitatoare. 91
5.3.2 Defectul bifazat. 94
5.3.2.1 Scurtcircuitul bifazat. 94
5.3.2.2 Scurtcircuit bifazat cu punere la pământ. 97
5.3.2.3 Dublă punere la pământ. 100
5.3.3 Scurtcircuitul trifazat. 100
Cap.6 Metode actuale de observare a defectelor în RED-MT. 102
6.1 Metode de identificare a defectului monofazat. 103
6.1.1 Punerea monofazată la pământ în RED-MT cu neutrul izolat. 103
6.1.2 Punerea monofazată la pământ în RED-MT cu neutrul compensat. 109

Scanned with OKEN Scanner

6.1.3 Defectul monofazat în RED-MT cu neutrul legat la pământ prin rezistenţă limitatoare. 116
6.2 Metode de identificare a defectului bifazat. 121
6.2.1 Scurtcircuitul bifazat. 121
6.2.2 Scurtcircuit bifazat cu punere la pământ. 122
6.3 Metode de identificare a scurtcircuitului trifazat. 125
Cap.7 Mijloace actuale de observare a defectelor în RED-MT. 128
7.1 Parametrii de calitate ai mijloacelor de identificare. 128
7.2 Tipuri de mijloace de protecţie. 131
7.2.1 Mijloace actuale pentru identificarea defectului monofazat. 133
7.2.1.1 Reţele cu neutrul izolat. 133
7.2.1.2 Reţele cu neutrul compensat. 139
7.2.1.3 Reţele cu neutrul legat la pământ prin rezistenţă limitatoare. 142
7.2.2 Mijloace actuale pentru identificarea defectului bifazat. 144
7.2.3 Mijloace actuale pentru identificarea scurtcircuitului trifazat. 145
Cap.8 Metode noi de observare a defectelor în RED-MT. 146
8.1 Metode noi de identificare şi localizare a punerii monofazate la pământ. 147
8.1.1 Punere monofazată la pământ în RED-MT cu neutrul izolat. 147
8.1.2 Punere monofazată la pământ prin rezistenţă de trecere mare (R_D) în RED-MT cu neutrul legat la pământ prin rezistenţă limitatoare (R_N). 174

Scanned with OKEN Scanner

8.1.3 Erori ce pot afecta unghiurile măsurate. 188
8.1.3.1 Erori de unghi determinate de căderile de tensiune. 188
8.1.3.2 Erori de unghi determinate de rezistența de trecere la locul cu defect. 191
8.1.3.3 Erori de unghi determinate de aparatele de măsură. 198
8.1.3.4 Efectul global al erorilor de unghi. 203
8.1.4 Comportarea dispozitivului de identificare şi localizare a punerii monofazate la pământ la alte tipuri de defecte. ... 218
8.1.4.1 Rețele electrice de distribuție cu neutrul izolat. 218
8.1.4.2 Rețele electrice de distribuție cu neutrul legat la pământ. 223
8.2 Metode noi de identificare şi localizare a scurtcircuitelor. 227
8.2.1 Metodă bazată pe controlul defazajelor. 227
8.2.1.1 Metodă de identificare şi localizare a scurtcircuitului monofazat. 227
8.2.1.2 Metodă de identificare şi localizare a scurtcircuitului bifazat cu punere la pământ. 233
Cap. 9 Mijloace noi de observare a defectelor în RED-MT. 243
9.1 Dispozitive de a plicare a unor metode noi pentru identificarea şi localizarea punerii monofazate la pământ. 243
9.1.1 Dispozitiv pentru identificarea şi localizarea punerii monofazate ferme la

Scanned with OKEN Scanner

pământ în rețele cu neutrul izolat. 243
9.1.2 Dispozitiv pentru identificarea și localizarea punerii monofazate la pământ prin rezistență de trecere mare, în rețele cu neutrul legat la pământ prin rezistență limitatoare. 253
9.1.3 Asigurarea sursei de alimentare a dispozitivelor. 256
9.2 Relee și dispozitive noi pentru aplicarea unor metode cunoscute pentru identificarea și localizarea punerii monofazate la pământ. 258
9.2.1 Relee maximale cu două mărimi de intrare. 259
9.2.1.1 REH-1. 259
9.2.1.2 REH-2. 261
9.2.2 Relee și dispozitive electyronice direcționale homopolare 262
9.2.2.1 REDH - 1. 262
9.2.2.2 DEHU - 2. 264
9.2.2.3 DEHU - 3. 265

Anexa I Calculul erorii de unghi dintre tensiunile de fază în lungul unui distribuitor în regim normal și de punere monofazată la pământ. 269
Bibliografie 277

Scanned with OKEN Scanner

Listă de abrevieri

SE	Sistem electroenergetic.
CE	Centrală electrică.
CHE	Centrală hidroelectrică.
ID	Instalaţie de distribuţie.
ID-MT	Instalaţie de distribuţie de medie tensiune.
ID-IT	Instalaţie de distribuţie de înaltă tensiune.
PA	Punct de alimentare.
PT	Post de transformare.
RET	Reţea electrică de transport.
RED	Reţea electrică de distribuţie.
REDU	Reţea electrică de distribuţie urbană.
REDI	Reţea electrică de distribuţie industrială.
REDPI	Reţea electrică de distribuţie a unei platforme industriale.
REDR	Reţea electrică de distribuţie rurală.
T	Transformator de putere.
TT	Transformator de măsură de tensiune.
TC	Transformator de măsură de curent.
TSH	Transformator de secvenţă homopolară.
FCSH	Filtru de curent de secvenţă homopolară.
I	Intrerupător.
S	Separator.
FCSI	Filtru de curent de secvenţă inversă.
STI	Staţie de transformare şi interconexiuni.
LES(C)	Linie electrică subterană (cablu).
LEA	Linie electrică aeriană.
DN	Detector de nivel.
DTZ	Detector de trecere prin zero.
SI	Sistem industrial.
CMA	Comandă manuală de pe aparat.
TCM	Telecomandă manuală.
CAA	Comandă automată de pe aparat.
BC	Bare colectoare.
DP	Dispozitiv de protecţie.
Tr	Tronson.
Ss	Separator de secţionare.

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

Prefaţă

Omul, în dorinţa sa milenară de a se elibera de activităţile neplăcute, a rămas totuşi prizonierul propriului perfecţionism. Începând cu mecanizarea, automatizarea, şi astăzi continuând cu cibernetizarea, el s-a înconjurat de o plasă fină de obiecte inteligente. Dacă iniţial această sferă atingea doar domeniul producţiei, astăzi ea acoperă chiar şi zona casnicului, prin răspândirea tot mai mult a aşa ziselor *"locuinţe inteligente"*.

Ori, această piramidă are ca punct de sprijin energia electrică, forma cea mai rafinată de energie. Utilizarea acesteia într-o gamă foarte largă de aplicaţii a condus la creşterea importanţei parametrilor de calitate specifici.

Asigurarea acestor parametri de calitate impune la nivelul sistemului electroenergetic (SE) şi a fiecăruia dintre componentele sale o activitate de concepere, execuţie, conducere operativă şi exploatare de nivel înalt.

Dintre parametrii de calitate ai energiei electrice, continuitatea în alimentare are efectele cele mai sensibile asupra consumatorilor, chiar dacă sursele neântreruptibile (UPS) devin nişte dispozitive uzuale. Continuitatea în alimentare depinde de configuraţia reţelei de transport şi distribuţie, dar mai ales de calitatea activităţii de conducere operativă a acestora. Pe acest plan se manifestă nivelul de dotare tehnică cu mijloace de control (intervenţie), observare (informare şi interpretare) şi conducere (coordonare), ce reprezintă suportul care permite exercitarea calificării înalte a personalului de conducere operativă . Reţelele electrice de distribuţie de medie tensiune (RED-MT) sunt o componentă de bază a SE, determinând în mare măsură continuitatea în alimentare a consumatorilor.

Posibilitățile actuale de conducere operativă a RED-MT, îndeosebi urbane, nu se ridică la nivelul celor din centralele electrice şi rețele electrice de transport. O problemă specifică RED-MT, care se desfăşoară pe o arie geografică relativ mare şi conțin un număr mare de elemente componente (puncte de alimentare, posturi de transformare, distribuitori secționați în tronsoane) o reprezintă localizarea elementului cu defect.

Datorită posibilităților reduse de identificare a unor tipuri de defecte şi îndeosebi de localizare a lor, durata întreruperilor în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor este determinată, în principal, de indisponibilitatea RED-MT.

Această constatare, precum şi altele de altă natură (rentabilizarea tranzitului) au determinat o preocupare majoră a organelor de specialitate (Colegiul consultativ pentru cercetare aplicată şi dezvoltare - Comisia Energie a O.N.U.) în scopul modernizării şi retehnologizării RED-MT.

In ultimii ani, pe seama celor de mai sus, autorii şi-au propus elaborarea unor metode noi şi conceperea de dispozitive de aplicare a acestora, în scopul identificării existenței unui anumit tip de defect şi în mod special a localizării elementului cu defect dintr-o RED-MT.

Astfel, pe lângă contribuțiile proprii ale autorilor, în lucrare s-au prezentat şi alte realizări noi din domeniul conceperii şi realizării de dispozitive şi relee pentru identificarea şi localizarea defectului monofazat în RED-MT.

Autorii apreciază că lucrarea este utilă electroenergeticienilor cu preocupări în domeniul analizei regimurilor de funcționare ale RED-MT, a conceperii şi realizării de mijloace menite să mărească disponibilitatea RED-MT.

Fără a avea pretenția unor soluții definitive, autorii prezintă rezolvarea unor probleme neglijate până acum, pe deplin convinşi că aceste rezolvări vor genera noi întrebări.

Autorii

Scanned with OKEN Scanner

CAP.1. REȚELELE ELECTRICE DE DISTRIBUȚIE, COMPONENTA A UNUI SISTEM ELECTROENERGETIC, PROBLEME ŞI CERINȚE ACTUALE.

Pentru ca energia, în forma ei cea mai evoluată, energia electrică, să poată fi asigurată la utilizator (consumator) este necesar, în primă instanță, să fie produsă, în centralele electrice, prin transformarea energiei primare (combustibili fosili, căderi de apă, atomică) în forme intermediare de energie (termică, cinetică de rotație) şi în final în energie electrică.

La consumator energia electrică este transformată la rândul ei în forme direct accesibile necesităților umane (termică, cinetică de rotație, etc.) forme, în principal, existente în etapele intermediare din procesul de obținere a energiei electrice.

Evident, conversia energiei în această formă "invizibilă" şi practic neutilizabilă ca atare, energia electrică, s-a impus datorită următoarelor considerente:

- randamentul net superior al transportului energiei fără transport de masă, sub formă de unde electromagnetice, în raport cu cel al transportului energiei cu transport de masă;
- manevrabilitatea şi acuratețea energiei sub această formă.

In principiu, asigurarea energiei electrice la consumator parcurge aceleaşi etape ca în cazul celorlalte forme de energie, respectiv: extragerea (la care se adaugă producerea, transformarea, în energie electrică), transportul către zonele concentrate de consum (aglomerări urbane, platforme industriale) şi distribuția în cadrul acestora.

Ca urmare, componentele principale ale unui sistem electroenergetic (S.E.) sunt cele prezentate în fig.1.1.

Scanned with OKEN Scanner

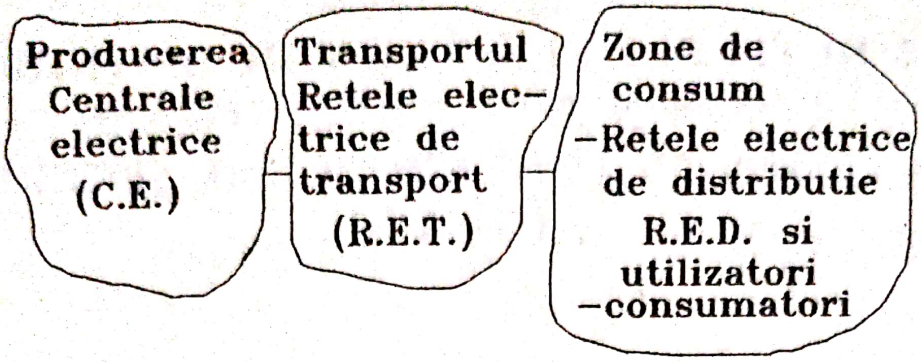


fig. 1.1

Amploarea şi structura reţelelor electrice de transport (RET) depinde de puterea tranzitată, distanţele la care se transportă, soluţia constructivă, indicatorii de siguranţă în funcţionare, etc.[34;35].

Zonele de consum pot fi mai mult sau mai puţin concentrate respectiv: centre urbane cu sau fără platforme industriale, consumatori casnici-edilitari concentraţi în edificii şi/sau desfăşuraţi pe aria geografică a aglomerării urbane, concentrări rurale [19; 29; 43].

Rezultă că, cel puţin în cazul centrelor urbane şi a platformelor industriale, se impune distribuirea energiei electrice fiecărui consumator (edificiu casnic edilitar, întreprindere, etc.),cu ajutorul reţelelor electrice de distribuţie (RED).

Amploarea şi configuraţia (termen mai adecvat decât cel de structură, utilizat în cazul RET), reţelelor electrice de distribuţie depinde de configuraţia centrului urban, de puterea distribuită, indicii de siguranţă în funcţionare şi de calitate a energiei electrice necesare de asigurat fiecărui consumator în parte şi rentabilitatea tranzitului.

In prezent, la nivelul centralelor electrice (C.E.) şi a reţelelor electrice de transport (RET), pe seama şi a unei activităţi de conducere şi exploatare de nivel ridicat (ca urmare a unei dotări tehnice corespunzătoare), se asigură indici de siguranţă în funcţionare corespunzători.

La nivelul RED indicii de siguranţă în funcţionare (îndeosebi gradul de asigurare a continuităţii în alimentare) nu se ridică la nivelul celor aferenţi C.E. şi RET. Din acest motiv durata întreruperilor în

Scanned with OKEN Scanner

alimentarea cu energie electrică a consumatorilor racordaţi la reţeaua electrică de joasă tensiune este determinată în mai mare măsură de întreruperile în alimentare din RED, de la care este alimentată.

Nivelul mai redus al indicatorilor de siguranţă în funcţionare este determinat, pe de o parte de calitatea echipamentelor (îndeosebi a cablurilor electrice - frecvenţa defectelor în liniile electrice în cablu este de o sută de ori mai mare în România decât în Franţa [7]) iar pe de altă parte, de nivelul redus al activităţilor de conducere şi exploatare. Acest nivel este redus datorită următorilor factori:

- posibilităţile reduse de intervenţie în RED (control) datorită numărului redus de aparate de comutaţie, iar cele existente nu sunt controlabile de la distanţă;
- posibilităţi reduse de supraveghere (observare) locală şi mai ales de la distanţă. Din acest motiv, de regulă, în prezent localizarea unui defect în RED dintr-un centru urban durează zeci de minute.

Din punct de vedere al consumatorilor casnici-edilitari asigurarea continuităţii în alimentare este indicatorul cel mai important deoarece eficienţa, pe seama dotărilor cu o gamă largă de echipamente electrice şi electronice a "locuinţei inteligente" este direct determinată de acest indicator [13].

Datorită nivelului "tehnologic" redus al reţelelor electrice de distribuţie, ce se manifestă şi în ceea ce priveşte calitatea şi dimensionarea echipamentelor, îndeosebi în ţările în curs de dezvoltare, Consiliul Economic şi Social al O.N.U. la a 12-a sesiune,New-York 1991, în raportul "Strategii şi măsuri permiţând raţionalizarea utilizării sistemelor energetice", recomandă "retehnologizarea şi modernizarea instalaţiilor energetice existente" [7].

Dacă retehnologizarea urmăreşte în principal rentabilizarea tranzitului de putere (problemă rezolvată în ţările dezvoltate) şi introducerea de echipamente (cabluri, celule de medie tensiune şi posturi de transformare) de calitate, modernizarea se referă în principal la calitatea şi conţinutul activităţii de conducere şi exploatare care pentru RED trebuiesc aduse, aşa cum s-a precizat mai sus, la nivelul celor din centralele electrice şi reţelele electrice de transport.

Scanned with OKEN Scanner

Datorită particularităţilor RED:desfăşurare pe o arie geografică relativ mare (centru urban, rural sau consumator industrial) şi numărul mare de echipamente componenete, îndeosebi linii electrice şi posturi de transformare [17;30] asigurarea unei conduceri operative eficiente este dificil de realizat. Introducerea unei structuri de calcul pentru controlul şi supravegherea unei RED [17;30], îndeosebi urbane, devine eficientă în condiţiile în care cresc posibilităţile de intervenţie (control) în reţea şi cele de informare (observare) asupra stării acesteia. Dacă pentru unele din aceste probleme există soluţii, limitarea aplicării lor fiind determinată de aspecte economice, pentru altele (informarea asupra stării elementelor componente, identificarea şi localizarea unui element defect) nu există sau nu se aplică încă soluţiile tehnice adecvate [17;43].

In această lucrare se vor prezenta şi metode şi mijloace noi care pot determina creşterea posibilităţilor de informare asupra stării unei RED, diagnosticarea tipului de defect (identificarea) şi localizarea acestuia.

Deşi poziţia aparatelor de comutaţie (întrerupătoare sau separatoare), valorile unor mărimi electrice (puteri, curenţi, etc.) fac parte din mulţimea mărimilor observabile, în această lucrare nu se vor analiza posibilităţile actuale sau de perspectivă de a le observa local sau de la distanţă deoarece aceste mărimi nu determină în mod direct parametrul de calitate specific RED-MT urbane, respectiv continuitatea în alimentare, iar în RED-MT de pe platformele industriale, aşa cum se va vedea, posibilităţile de informare sunt superioare celor din RED-MT, dificultăţile fiind determinate de performanţele dispozitivelor cu care se identifică şi localizează anumite tipuri de defecte [43].

In conformitate cu proprietăţile unui sistem mare [39] (sistem elecroenergetic) sau subsistem al acestuia (RED), calitatea unui sistem, care dispune de un sistem coordonator, de ai putea urmări starea la un moment dat şi cauzele care îl determină să treacă de la o stare la alta se numeşte proprietatea de observabilitate.

Ca urmare, această lucrare, care analizează posibilităţile actuale de identificare şi localizare a defectelor în RED şi prezintă şi soluţii noi în acest scop şi-a adoptat, ca denumire, conceptul şi proprietatea adecvată unui sistem, respectiv OBSERVABILITATEA.

Scanned with OKEN Scanner

CAP.2. REȚEAUA ELECTRICĂ DE DISTRIBUȚIE, SUBSISTEM A UNUI SISTEM MARE

Abordarea conducerii unui sistem electroenergetic, din punct de vedere ingineresc, implică utilizarea metodelor şi tehnicilor teoriei sistemelor mari. Astfel, dacă pentru circuitele simple sunt suficiente teoria, legile şi teoremele electrotehnicii clasice sau ale electrotehnicii neliniare, în cazul rețelelor mari, formate din multe subsisteme interconectate, este necesar un aparat matematic special, bazat în întregime pe posibilitățile de procesare ale calculatoarelor moderne. Obiectivul principal urmărit este calculul puterii şi energiei procesate, elemente obligatorii pentru planificarea producției, transportului şi distribuției energiei electrice. Pe baza acestor parametri se poate realiza optimizarea planificării şi dispecerizării sistemului energetic național şi implicit la nivelul subsistemelor teritoriale.

Analiza sistemului electroenergetic, cu luarea în considerare a tuturor celorlalte criterii de performanță (continuitatea în alimentare, de ex.), precum şi influența perturbațiilor (inclusiv cele legate de mediul exterior), face necesară utilizarea modelării matematice a sistemului respectiv la gradul de finețe şi acuratețe impus. Concluziile furnizate de acest model sunt utile atât pentru elaborarea strategiei conducerii optimale, cât şi pentru implementarea suportului fizic necesar prelevării datelor semnificative din sistem, concentrarea şi prelucrarea lor, în scopul elaborării comenzii optimale. Structura comenzilor posibile indică, de asemenea, şi gradul necesar de automatizare la nivel de comandă (elementele de comutație din sistem, de exemplu).

Modelarea sistemului electroenergetic implică încadrarea sa în categoria sistemelor fizice dinamice, pentru care formalismul matematic utilizat în scopul simulării sau optimizării este de tip continuu (pe porțiuni), neliniar, determinist (sau stocastic, dacă se consideră perturbațiile exterioare).

Modelul continuu, (sau discret, dacă se are în vedere discretizarea variabilelor în scopul utilizării unui aparat matematic mai simplu) trebuie să

Scanned with OKEN Scanner

trebuie să evite discontinuitățile esențiale ale sistemului energetic, generate de existența echipamentelor de comutație.

Aceste discontinuități se reflectă asupra topologiei rețelelor electrice, trecerea de la o structură la alta petrecându-se secvențial, cu parcurgerea regimului tranzitoriu respectiv.

Modelarea manevrelor în sistemul electroenergetic se poate realiza utilizînd teoria grafurilor sau rețelele neuronale.

Acest model urmează să interfereze cu modelul parametric (de tip intrare-stare-ieşire) al sistemului. Această interferență nu se petrece la nivelul formalismului matematic, ci numai datorită utilizării unei baze de date comune, care permite reactualizarea modelului la fiecare manevră în sistem.

2.1. CONCEPTUL DE SISTEM MARE

Pentru analiza RED-MT, componentă a SEN, este necesar să se apeleaze la concepte fundamentale, de sistem dinamic şi de subsistem.

Sistemul dinamic, în accepțiunea sa cea mai generală, cuprinde o serie de interdependențe între elemente de natură tehnică, economică şi/sau socială, delimitabile într-un contur şi interacționând cu mediul înconjurător.

Chiar şi în cadrul sistemelor relativ simple, abordarea problemelor specifice controlului, coordonării şi observării acestora implică utilizarea unui MODEL (de natură fizică, logică sau formală), pe baza caruia se pot studia interdependențe între variabile şi evoluția spațio-temporală a acestora. Aceste informații sunt utilizate pentru previziune, simulare sau optimizare.

Previziunea utilizează o serie de variabile de intrare în sistem, impuse, pe baza cărora se obțin variabilele de stare din model.

Simularea permite testarea rezultatelor unei strategii de conducere, care presupune alegerea unor variabile de conducere în timp real, ținând seama de informația disponibilă în prezent (comanda în buclă închisă). Pot fi testate şi rezultatele unei politici, acțiune care fixează variabilele de decizie pe o perioadă de timp fixată (comanda în buclă deschisă).

Scanned with OKEN Scanner

Optimizarea unui sistem urmareşte menţinerea sistemului pe o traiectorie optimă, subordonându-l unui criteriu de performanţă.

Pentru definirea unui sistem dinamic trebuie precizate urmatoarele entităţi:

U = mulţimea variabilelor de intrare (de comandă);
X = mulţimea stărilor;
Y = mulţimea variabilelor de ieşire; (2.1)
φ = funcţia de dinamică;
g = funcţia de ieşire;
$[t_0, t_f]$ = intervalul de timp considerat.

Aspectul neliniar al cel puţin uneia dintre funcţiile de dinamică sau de ieşire se transferă întregului sistem, iar caracterul dinamic este generat de funcţia de dinamică şi de considerarea factorului timp.

Sistemul dinamic neliniar se defineşte deci cu ajutorul mulţimii

$$S = \{U, X, Y, \varphi, g, t\} \quad (2.2)$$

unde

$$\varphi = \varphi(u,x): U \times X \rightarrow X$$
$$g = g(x): X \rightarrow Y$$

iar variabilele aparţin spaţiilor respective:

$$u(t) \in U,\ x(t) \in X \text{ şi } t \in [t_0, t_f] \subset T$$

După modul de considerare al timpului (mulţimea T), sistemul poate fi continuu (T este o submulţime a numerelor reale, eventual chiar R) sau discret (T este o submulţime a numerelor naturale, la limita chiar N). Deosebirile nu sunt esenţiale, ele constau în utilizarea unor instrumente matematice de complexităţi diferite. Practic, sistemele continue pot fi "discretizate" prin eşantionare, iar cele discrete pot fi continuizate cu ajutorul convertoarelor.

Dacă sistemul (de natură tehnică sau nu) se dezvoltă, apar interconexiuni strânse cu alte sisteme, el devenind un un subsistem în cadrul unui sistem mare.

Scanned with OKEN Scanner

Conform [33], sistemul mare S este un sistem dinamic complex ca structură şi ca obiective, constituit dintr-o mulţime de subsisteme S_i, interconectate, şi un sistem coordonator, comportarea sistemului în ansamblu cazând sub incidenţa principiului de incertitudine.

Modelul unui subsistem al unui sistem mare se exprimă sub forma:

$$S_i = \{U_i, X_i, V_i, Y_i, W_i, \varphi_i, g_i, h_i, T\} \tag{2.3}$$

în care

- U_i = submulţimea intrărilor (comenzilor) subsistemului i;
- X_i = submulţimea stărilor subsistemului i;
- V_i, W_i = submulţimea interacţiunilor subsistemului i cu celelalte n-1 subsisteme, respectiv cu exosistemul;
- Y_i = submulţimea ieşirilor din subsistemul i;
- fi = funcţia de tranziţie a subsistemului i;
- g_i, h_i = funcţia de interacţiune, respectiv de ieşire a subsistemului;
- T = submulţimea variabilelor de timp.

Incă din faza aceasta trebuie precizat că relaţiile matriciale care intervin în modelul sistemului mare au dimensiuni mari, dar cu multe elemente nule. In mod firesc, pentru a putea procesa aceste date, se recurge la reducerea dimensionalităţii sistemului prin descompunere, descentralizare, agregare şi analiză calitativă a sistemului. Descompunerea sistemului mare în subsisteme interconectate (care sunt tot sisteme dinamice) presupune introducerea în model a variabilelor de interacţiune:

$$v_i = \sum_{j=1, j\neq i}^{n} g_{i,j}(x_j) \tag{2.4}$$

Descompunerea sistemului mare, plecând de la aspectul formal al descrierii sale, trebuie să se suprapună firesc peste structurile fizice ale sistemului studiat, cum ar fi diferite RED în cadrul SEN, RED dezvoltate pe arii în general bine delimitate (urban, industrial,rural).

Scanned with OKEN Scanner

Abordarea distinctă a RED-MT, chiar dacă acestea sunt subsisteme ale unui sistem mare, se justifică analizând modul de studiu al unui sistem mare, care presupune patru faze:

a) stabilirea obiectivelor sistemului;

b) descompunerea sistemului mare în sisteme interconectate;

c) studiul proprietăţilor calitative şi cantitative ale subsistemelor;

d) extinderea proprietăţilor subsistemelor la ansamblul sistemului mare, utilizând structurile de interconexiune.

Faţă de etapizarea prezentată în cazul RED-MT se poate elabora direct modelul acestui subsistem, nefiind necesar ca acesta să fie rezultatul descompunerii sistemului mare. Acest lucru este posibil datorită uşurinţei cu care se poate stabili conturul acestui subsistem, principalele puncte de interconexiune (puţine ca număr) fiind punctele de injecţie a energiei electrice (staţii de transformare, centrale electrice).

Forma generală de reprezentare matematică a sistemelor dinamice multivariabile neliniare apelează la sisteme vectoriale de ecuaţii mixte (diferenţiale şi algebrice):

$$\begin{cases} x(t) = j\big(x(t), u(t)\big) \\ x(0) = x_0 \\ y(t) = g\big(x(t), u(t)\big) \end{cases} \qquad (2.5)$$

x - vectorul de stare *n* dimensional, cu componentele x_i, i =1,2,....n

y - vectorul de ieşire *r* dimensional, cu componentele y_j, j=1,2,....r

u - vectorul de comandă *m* dimensional, cu componente u_l, l=1,2,....m

f,g - funcţii vectoriale, cu componente f_i, g_i, care descriu dinamica şi respectiv ieşirea sistemului.

Soluţia ecuaţiei de dinamică a sistemului este o funcţie vectorială n dimensională $\varphi(t; X_0; t_0$, pentru orice $t \geq t_0$, unic determinată pentru orice pereche (x_0 , t_0).

Sistemul real este supus unor restricţii, care în cazul general pot fi reprezentate printr-o condiţie:

Scanned with OKEN Scanner

$$h(x(t), u(t)) \leq 0 \qquad (2.6)$$

Obiectivele sistemului pot fi exprimate analitic prin intermediul indicelui de performanță $J(x(t), u(t)) \leq 0$, care este maximizat (minimizat) prin funcția obiectiv

$$\min(\max)\{J(x(t), u(t))\} \qquad (2.7)$$

în care X_a şi U_a reprezintă spațiul de admisibilitate al stărilor, respectiv al comenzilor.

2.2. MODELAREA RED-MT

Sistemul RED-MT, ca subsistem al SEN, se descrie utilizând modelul intrare-stare-ieşire pentru circuite electrice neliniare. Mărimile care intervin în acest model sunt:

1. Variabile de intrare - sunt tensiunile electromotoare (surse exterioare) notate $u_i(t)$;

2. Variabile de stare - descriu funcționarea circuitului electric şi sunt de două feluri:

- variabile de stare primare:
- curentul electric de conducție *i(t)* , prin care se caracterizează starea rezistoarelor neliniare;
- fluxul magnetic $\varphi(t)$, prin care se caracterizează starea inductanțelor neliniare;
- sarcina electrică *q(t)*, prin care se caracterizează starea condensatoarelor neliniare.

3. Variabile de ieşire - sunt o combinație de variabile de stare, cu relevanță pentru criteriul de performanță utilizat.

O remarcă se impune, şi anume că variabilele de stare sunt considerate în înțelesul lor cel mai general, şi anume de variabile care determină

Scanned with OKEN Scanner

comportarea viitoare a unui sistem, când starea prezentă a sistemului şi intrările sunt cunoscute. Rezultă imediat că noţiunea de **stare** utilizată în paragraful 4.2.1. va deveni o submulţime a variabilelor de stare, referindu-se în special la topologia reţelei, modelată prin procedee diferite (subcap. 2.6.).

Cu aceste notaţii, modelul circuitului electric neliniar, fig. 2.1., este exprimat prin relaţia:

$$C_H = \{ U_i, X, U_e, f, g, t \} \tag{2.8}$$

unde: $f = f(u_i, i, \varphi, q): U_i \times X \longrightarrow X$

$g = g(v, v, w, i\ \varphi, q): X \longrightarrow U_e$

$u_i = \{u_{ij}\} \in U_i, \quad x = \{i_{jk}, \varphi_{jk}, g_{ik}\}, \quad u_e = \{u_{Il}\} \in U_I$

Concretizând aceste expresii cu ajutorul Teoremelor generalizate ale lui Kirchhoff, se obţine:

$$\sum_k v_{jk}(i_{jk}) + \sum_k \frac{d}{dt}\varphi_{jk}(i_{jk}) + \sum_k w_{jk}(q_{jk}) + \sum_k R_{jk} i_{jk} + \sum_k L_{jk} \frac{di_{jk}}{dt} +$$

$$+ \sum_k \frac{q_{jk}}{C_{ik}} = \sum_k (E(t) + U_{ik}(t)) \tag{2.9}$$

$$\frac{dq_{jk}}{dt} = i_{jk}; \quad \sum_l i_{Nl} = 0; \quad v_{jr}(i_{jr}) = r_{jk}(i_{jk}) \cdot i_{jk}; \quad v_{jk}(i_{jk}) = l_{jk}(i_{jk}) \cdot i_{jk};$$

$$w_{jk}(q_{jk}) = S_{jk}(q_{jk}) \cdot q_{jk}$$

Condiţiile iniţiale sunt precizate sub forma:

$i_{jk}(0) = i^0_{jk} \quad ; \quad q_{jk}(0) = q^0_{jk}$

Funcţia de dinamică a ieşirilor va fi în general de forma:

$$u^m_e = q^m(i_{jk}, \varphi_{jk}, q_{jk}, v_{jk}, v_{jk}, w_{jk})$$

unde:

Scanned with OKEN Scanner

j = număr de bucle, în sens generalizat, respectiv considerând şi pământul ca nod, deci formând un inel cu fiecare tronson de distribuitor;

k = număr de laturi, (k=1,2, ... ,K);

N = număr de noduri, (N=1,2, ... ,);

l = număr de laturi incidente într-un nod,

(l=1,2, ... , L);

m = număr de ieşiri (m=1,2, ... ,M);

Inlocuind expresiile variabilelor de stare, rezultă:

$$\begin{cases} \sum_{k} r_{jk}(i_{jk})\cdot i_{jk} + \sum_{k}\frac{d}{dt} l_{jk}(i_{jk})\cdot i_{jk} + \sum_{k} S_{jk}(q_{jk})q_{jk} + \sum R_{jk} i_{jk} + \\ + \sum L_{jk}\frac{di_{jk}}{dt} + \sum_{k}\frac{q_{jk}}{C_{jk}} = \sum\left(E_{jk}(t) + U_{jk}(t)\right) \\ \frac{dq_{jk}}{dt} = i_{jk} \\ \sum_{N} i_{Nl} = 0 \end{cases} \qquad (2.10)$$

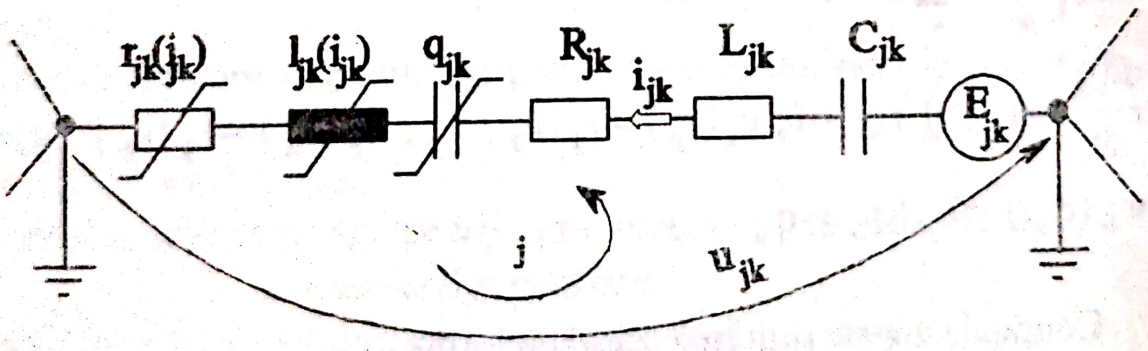


fig.2.1.

Grupând termenii şi separând termenii liniari de cei neliniari, se obţine:

Scanned with OKEN Scanner

$$\sum_k L_{jk}\frac{di_{jk}}{dt}+\sum_k\left[R_{jk}i_{jk}+\frac{1}{C_{jk}}q_{jk}\right]=\sum_k E_{jk}(t)-\sum\left(l_{jk}(i_{jk})+l'_{jk}(i_{jk})\right)\frac{di_{jk}}{dt}-$$

$$-\sum\left(R_{jk}(i_{jk})\cdot i_{jk}+S_{jk}(i_{jk})q_{jk}\right) \qquad (2.11)$$

Scrierea matricială a acestor ecuaţii pune în evidenţă următoarele structuri:

$$\begin{bmatrix}L_{jk} & 0\\ 0 & I\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\frac{di}{dt}\\ \frac{dq}{dt}\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}R_{jk} & \frac{1}{C_{jk}}\\ -I & 0\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}i\\ q\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}E\\ 0\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}-l_{jk}(i_{jk})+l'_{jk}(i_{jk}) & 0\\ 0 & 0\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}\frac{di}{dt}\\ \frac{dq}{dt}\end{bmatrix}+$$

$$+\begin{bmatrix}-r_{jk}(i_{jk}) & -S_{jk}(q_{jk})\\ 0 & 0\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}i\\ q\end{bmatrix} \qquad (2.12)$$

Unde s-a notat :

[O] - matricea vidă;

[I] - matricea ale cărei elemente pe diagonala principală sunt 1, cu excepţia indicilor laturilor care nu conţin condensatoare. In rest elementele sunt nule.

$[L_{jk}]$ - matricea ale cărei elemente din jurul diagonalei sunt l_{jk};

$[S_{jk}(q)]$ - idem, de forma $s_{jk}(q)$

[E] - matricea ale cărei elemente sunt $E_{jk}(t) \diamond U_{jk}(t)$.

Submatricile [I], $[L_{jk}]$, $[R_{jk}]$, $[1/C_{jk}]$ înglobează două categorii de informaţii:

a) parametrii electrici ai reţelei;

b) topologia reţelei;

In cazul RED, toţi aceşti parametri variază în timp, sistemul fiind deci *neliniar şi variant în timp*. Această dependenţă poate fi lentă (cazul nivelului de izolaţie al unui cablu, care se depreciază în timp) sau rapidă. La limită pot apare chiar discontinuităţi, create de efectuarea unei manevre, de

Scanned with OKEN Scanner

exemplu. Schimbarea topologiei rețelei se reflectă în modelul matematic prin "rescrierea" matricilor respective.

Pe planul general (concret) al exploatării rețelelor, această operație de **reinițializare** se traduce într-o activitate de *supraveghere* (observare) continuă a rețelelor, fără de care proprietățile sistemelor mari (vezi subcap.2.4. și 2.5.) rămân fără beneficii practice.

Pentru a nu crește inutil gradul de complexitate al modelului sistemului, acesta poate fi considerat invariant în timp, pe durata intervalului de eșantionare.

Beneficiind de această simplificare formală, se pot face notațiile:

$$\begin{bmatrix} L_{jk} & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix}=M_1;\quad \begin{bmatrix} R_{jk} & \frac{1}{C_{jk}} \\ -I & 0 \end{bmatrix}=M_2;\quad \begin{bmatrix} -l_{jk}(i_{jk})+l'_{jk}(i_{jk}) & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}=N_1$$

$$\begin{bmatrix} -r_{jk}(i_{jk}) & -S_{jk}(q_{jk}) \\ 0 & 0 \end{bmatrix}=N_2 \qquad (2.13)$$

Rezultă forma canonică a ecuațiilor de dinamică a stării sistemului:

$$M_1 \cdot \dot{X}+M_2 \cdot X = U + N_1(x) \cdot \dot{X}+N_2(x) \cdot X \qquad (2.14)$$

Se observă din relațiile de definiție ale matricilor M_1, M_2, N_1, N_2, și U că acestea au un număr mare de elemente nule. Acest aspect permite utilizarea unor metode și tehnici speciale de calcul, dar are aplicații și asupra comportării fizice a sistemului, un exemplu fiind posibilitatea decompozabilității sale.

2.3.CONCEPTUL ȘI PROPRIETATEA DE DECOMPOZABILITATE

Decompozabilitatea unui sistem S este proprietatea lui S de a fi descompus în subsisteme S^i (i=1,2, ... , n), astfel încât pentru

Scanned with OKEN Scanner

$$S = \{U, X, Y, \varphi, g, t\}$$

sistemul

$$S_i = \{U_i, X_i, Y_i, \varphi_i, g_i, t\} \qquad (2.15)$$

este subsistem al lui S, dacă şi numai dacă există relaţiile de incluziune următoare:

$$U_i \subset U;\ X_i \subset X;\ Y_i \subset Y;\ U_i \times X_i \xrightarrow{\varphi_i} X;\ X_i \xrightarrow{g_i} Y_i \qquad (2.16)$$

Proprietatea de decompozabilitate stabileşte o legătură directă între funcţionarea sistemului şi formalismul matematic care îl descrie. Acest concept a fost elaborat şi s-a impus datorită imposibilităţii rezolvării problemei de minimizare a indicelui de performanţă global, în cazul sistemelor de dimensiuni mari. S-a ajuns la descompunerea procesului P în subprocese P_i, prin parcurgerea următorilor paşi:

a) descompunerea spaţiului starilor X în subspaţii de stări X_i şi în subspaţiul de interacţiune V, astfel:

$$X = X_1 \times X_2 \times \cdots \times X_n \times V_n; \qquad (2.17)$$

b) descompunerea spaţiului comenzilor U, respectiv spaţiul comenzilor admisibile U_a în subspaţii corespunzătoare:

$$U = U_1 \times U_2 \times \ldots \times U_n$$
$$U_a = U_{a_1} \times U_{a_2} \times \ldots U_{a_n} \qquad (2.18)$$

c) descompunerea procesului global P în subprocese locale P_i

$$P = \{P_1, P_2, \ldots, P_n\} \qquad (2.19)$$

Sistemul poate fi descompus pe orizontală, rezultând subprocese individuale, sau pe verticală, corespunzător diferitelor niveluri de conducere.

Scanned with OKEN Scanner

Descompunerea orizontală (cu cele trei variante - în serie, în paralel sau în cascadă cu feed-back) poate fi realizată utilizând metode matematice sau fizice.

In cazul RED-MT, descompunerea fizică poate fi realizată direct, deoarece aceste retele pot fi separate printr-un contur clar în cadrul SEN, interacțiunile fiind relativ ușor de evidențiat. In acest fel se verifică și condițiile necesare pentru o corectă descompunere a unui sistem mare:

- subsistemele să fie sisteme;
- subsistemele să aibă legi de compoziție proprii;
- funcția globală a sistemului mare să poată fi exprimată ca o sumă a funcțiilor obiectiv locale;
- descompunerea în subsisteme trebuie să pună în evidență și interacțiunile.

In cazul unei zone relativ restrânse, se poate observa că descompunerea în paralel a unor RED-MT urbane, uzinale sau rurale, alimentate din aceleași stații de transformare, este simplă, fiind practic realizată constructiv.

Concluzia acestor considerații este faptul că descompunerea matematică este un instrument secundar în cazul RED-MT, el fiind necesar doar în cazul sistemelor mari fără o structură specială, deci care nu poate fi analizată direct.

Descompunerea verticală permite conducerea subsistemelor prin implementarea unui sistem decizional ierarhizat, de tip piramidal. Fiecare nivel coordonează sistemele conduse, în scopul atingerii optimului global al sistemului. In cazul SEN, interacțiunea între subsisteme este complexă, coordonarea făcându-se prin metode euristice. Această observație explică relativ de marea independență de decizie a dispeceratelor energetice locale, deoarece nu există o soluție matematică a modelului de ansamblu.

Scanned with OKEN Scanner

2.4. CONCEPTUL ŞI PROPRIETATEA DE CONTROLABILITATE.

Conducerea optimală a sistemelor mari utilizează ca instrument de bază proprietatea de decompozabilitate, existînd posibilitatea de a exploata proprietatea de **coordonabilitate** a subsistemelor, pe mai multe niveluri decizionale. Intreaga strategie nu este însă eficientă dacă nu se beneficiază de o proprietate fundamentală a sistemelor dinamice, şi anume controlabilitatea.

Controlabilitatea este proprietatea unui sistem dinamic de a dispune de o intrare (comanda) admisibilă $u(t)$, capabilă să transfere starea inițială $x(t_0)$ în starea dorită $x(t_1)$.

Definiția controlabilității stă şi la baza demonstrării existenței sale, constând în existența unei comenzi admisibile care să modifice starea sistemului în direcția dorită.

Se consideră cazul general al unui sistem dinamic multivariabil, descris de sistemul diferențial neliniar:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= A(t)\cdot x(t) + B(t)\cdot u(t) + f(x,u,t) \\ x(t_0) &= x_0 \end{aligned} \qquad (2.20)$$

Dacă soluția sistemului, scrisă sub forma $x(t,t_0,x_0,u)$ există, atunci sistemul poate fi scris sub forma integrală echivalentă

$$x(t) = \varphi(t,t_0)\cdot x_0 + \int_0^t \varphi(t,\tau)\,B(\tau)u(\tau)d\tau + \int_0^t \varphi(t,\tau)f(x(\tau),u(\tau),\tau)d\tau \qquad (2.21)$$

unde $\varphi(t, t_0)$ este matricea de transfer a ecuației sistemului liniar liber:

Dacă un sistem este controlabil pentru orice $x_0 \in R^n$, atunci el este, prin definiție, global controlabil.

Scanned with OKEN Scanner

In cazul RED-MT, o proprietate esenţială este controlabilitatea în interacţiune. Plecând de la modul în care a fost realizată descompunerea sistemului mare în subsisteme, între care există interacţiunile v_i, rezultă forma generală:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= A_i \cdot x_i + B_i u_i + v_i + f_i(x_i, u_i, t) \\ x_i(0) &= x_{i0} \\ v_i &= \sum_{j \neq i}^{n} A_{ij} X_{ij} \end{aligned} \qquad (2.23)$$

Ecuaţia de stare a subsistemului *i* poate fi scrisă şi sub forma

$$\dot{x} = A_i X_i + \begin{bmatrix} B_i & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \end{bmatrix} + f_i(x_i, u_i\ t) \qquad (2.24)$$

sau explicitând vectorul v_i

$$\dot{x}_i = A_i \cdot X_i + \begin{bmatrix} B_i A_i .. A_{i,j-1} A_{i,j+1} .. A_{in} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_i \\ x_1 \\ \vdots \\ x_{i-1} \\ x_{i+1} \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} + f_i(x_i, u_i, t) \qquad (2.25)$$

Se fac notaţiile consacrate [39] :

Scanned with OKEN Scanner

$$\left[BA_{i1}\ldots A_{i,j-1}\cdot A_{i,j+1}\ldots A_{in}\right]=\overline{B_i}$$
$$\left[u_i x_1\ldots x_{i-1}x_{i+1}\ldots x_n\right]^T=\overline{u_i} \qquad (2.26)$$

şi rezultă forma restrînsă:

$$\dot{x}=A_iX_i+\overline{B}_i\overline{u}_i+f_i \qquad (2.27)$$

Pentru sistemele liniare,

$$\dot{x}_i=A_ix_i+\overline{B}_i\overline{u}_i; \qquad (2.28)$$

se poate construi [39] matricea de controlabilitate

$$M_i=\left[\overline{B}_i \quad A_i\overline{B}_i \quad A_i^2\overline{B}_i\ldots A_i^{n-1}\overline{B}_i\right] \qquad (2.29)$$

şi rezultă că pentru a avea o pereche $[A_i, B_i]$ controlabilă este necesar şi suficient ca matricea de controlabilitate să aibă rangul n_i, deci din totalul de $n_i(m_i+m_{iv})$ coloane ale lui M_i, un număr de n_i sunt liniar independente. Sistemul este global controlabil dacă fiecare subsistem satisface această ultimă condiţie.

2.5.CONCEPTUL ŞI PROPRIETATEA DE OBSERVABILITATE.

Observabilitatea unui sistem este proprietatea structurală definită [39] pe intervalul $[t_0, t_1]$ dacă, fiind date:

- mărimea de comandă u pe intervalul $[t_0, t_1]$;
- răspunsul y pe durata $[t_0, t_1]$;
- ecuaţiile de dinamică corespunzătoare modelului intrare-stare-ieşire,

Scanned with OKEN Scanner

se poate determina starea inițială $x(t_0)$, de la care s-a considerat evoluția procesului.

Mai sintetic, observabilitatea este proprietatea care pune în evidență posibilitatea determinării unei stări din prelucrarea mărimilor măsurate.

Deci din punctul de vedere al exploatării, manifestarea proprietății de observabilitate nu se verifică decât dacă pe lângă semnalizările uzuale, măsurarea parametrilor de interes, funcționează și metodele de analiză, în vederea prelucrării tuturor acestor informații. Aceste metode de analiză se concretizează din planul teoretic în cel practic numai dacă există și mijloacele necesare.

Observabilitatea RED-MT, componentă a unui sistem mare, poate fi demonstrată acceptînd dualitatea cu proprietatea de controlabilitate, ambele fiind subordonate modului în care a fost realizată descompunerea sistemului mare.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= A_{ij}x_{ij} + B_i u_i + \sum_{j \neq i}^{n} A_{ij}x_{ij} \\ y_i &= C_i x_i \qquad (i = 1,2,\ldots,n) \end{aligned} \tag{2.30}$$

în n subsisteme interconectate, de forma

$$\begin{aligned} \dot{x} &= A_i x_i + B_i u_i \\ y_i &= C_i x_i, \qquad (i = 1,2,\ldots,n) \end{aligned} \tag{2.31}$$

Utilizînd notațiile din (2.29), condiția de observabilitate a unui subsistem devine

$$\text{rang}\left[C_i^T \quad A_i^T C_i^T \quad A_i^{T^2} C_i^T \ldots A_i^{T^{n-1}} C_i^T\right] = n_i \tag{2.32}$$

Scanned with OKEN Scanner

Dacă fiecare subsistem satisface această relație, atunci și sistemul mare este global observabil.

Aparatul matematic dedicat demonstrării și cuantificării observabilității RED-MT este dezvoltat în numeroase lucrări, dar el este orientat numai pe modelul canonic al RED-MT. Astfel, chiar daca modelul canonic se bucura de toate conceptele și proprietățile sistemelor mari, ramâne un deziderat demonstrarea că si sistemul însuși se manifestă în acelasi mod.

2.6.LIMITELE MODELULUI CANONIC AL RED-MT

Modelul canonic al RED-MT, realizat sub forma intrare-stare-ieșire, *nu* poate furniza soluția teoretică a problemei conducerii optimale.

Definiția conducerii optimale a unui sistem dinamic mare este exprimată de egalitatea:

$$\underset{x,u}{\text{Max(Min)}}\left\{J=\sum_{i=1}^{n}J_i\right\}=\sum\left[\underset{x_i,u_i,v_i}{\text{Max(Min)}}\{J_i\}\right] \qquad (2.33)$$

unde:

J = indicele de performanță al sistemului mare;

J_i = indicele de performanță al subsistemului i;

x, u = vectorul de stare, respectiv de comandă al sistemului mare;

x_i, u_i, v_i = subvectorii de stare, comandă, respectiv de interacțiune pentru subsistemul i.

Acest criteriu de performanță se referă în general la minimizarea costurilor de producție. In cazul SEN, principalele mărimi de comandă sunt puterile injectate de centrale, fiecare intervenind cu costurile specifice proprii (dar variabile), cît și cu restricțiile proprii (cazul CHE de vîrf sau în

Scanned with OKEN Scanner

cascadă). În mod firesc, soluția optimizează și circulația puterii reactive, minimizînd astfel costurile.

Sistemul real este supus unor restricții suplimentare celor deja considerate (tensiuni, curenți admisibili). Aceste restricții se referă la **durata întreruperilor**. In condițiile exigențelor moderne, penalitățile care pot apare din neînscrierea în valorile admise prin contractele de furnizare a energiei electrice pot depăși net costurile generate de transportul (și producerea) acesteia, considerat ca un regim cvasipermanent. In opoziție, evoluția spre avarie, cît și reconstrucția postavarie a rețelelor, are un grad ridicat de discontinuități, generate de secvențialitatea efectuării manevrelor sau protecțiilor automate, întinse pe o plajă limitată de timp. De aceea se consideră că

modelul canonic nu oferă posibilitatea minimizării duratei întreruperilor în alimentare.

Modelului canonic i se poate asocia un "mecanism" bazat pe reguli de inferență [11], rezultând modelul complet. Acest model poate optimiza criteriul general de performanță, care include și penalitățile generate de durata întreruperilor:

$$\text{Max(Min)}J_i + \text{Min(Max)}T_iP_kC_k \qquad (2.33)$$

unde C_k este costul puterii nelivrate pe perioada de timp T_i .

Obținerea solutiei optimale este deosebit de dificilă, fiind necesară utilizarea metodelor iterative. Regulile de inferență, suficient de complexe, conduc la o slabă convergență a metodelor iterative.

Această observație conduce la ideia că elaborarea și utilizarea modelului complet nu este practică. Optimul global este exprimat de două criterii cvasiindependente:

C1 - costuri de producție minime, cu componentele:

- optimizarea producției în centrale;
- optimizarea circulației de puteri;

Scanned with OKEN Scanner

- investiţii minime.

C2 - timp de întrerupere în alimentare minim.

Se oservă că cele două criterii sunt practic independente, singura conexiune fiind cea legată de investiţii, care sunt majorate dacă se impune minimizarea criteriului C2.

Rezolvarea suboptimală a problemei devine însă atractivă, în special datorită particularităţilor RED-MT. Rezultă astfel posibilitatea abordării problemei de conducere prin utilizarea a două modele distincte, şi anume:

- **modelul canonic pentru criteriul C1;**
- **modelul secvenţial, bazat pe reguli de inferenţă, pentru criteriul C2.**

Obiectul acestei lucrări este localizat în zona modelului secvenţial, autorii avînd preocupări în acest domeniu, prin elaborarea unui motor de inferenţă original, bazat pe utilizarea regulilor generice [11]. Dacă în cazul modelului canonic este relativ uşor de demonstrat că proprietăţile fundamentale ale sistemelor mari (observabilitatea, controlabilitatea, etc.) se manifestă (modelul canonic beneficiind de omogenitatea conceptuală a legilor fundamentale ale electrotehnicii), nu acelaşi lucru se poate afirma despre modelul secvenţial. Acesta, fiind elaborat pe baza unor reguli bazate pe experienţa expertului uman, exploatate şi implementate de către inginerul "de cunoştinţe", poate fi deficitar în unele privinţe. In fig. 2.2. se prezintă logica funcţionării modelului complet al RED-MT, putîndu-se observa autonomia celor două submodele, relativ la întreg lanţul decizional. Legăturile între cele două submodele (canonic şi secvenţial) pun în evidenţă deficienţele sistemului în sine.

Modelul canonic are la bază cunoaşterea topologiei reţelei în totalitate, cît şi valoarea parametrilor elementelor de reţea implicate (respectiv submatricile $[R_{jk}]$, $[X_{jk}]$,$[C_{jk}]$). Rezultă că modelul canonic nu poate aborda comportarea RED-MT pre- şi postavarie, neexistînd practic fluxul informaţional care să reiniţializeze (printr-o acţiune de "refresh") reprezentarea în model a topologiei reţelei în evoluţia sa legată de avarie.

Scanned with OKEN Scanner

Fără aceste informaţii, modelul poate optimiza totuşi criteriul C1, pe baza căruia blocul de elaborare a comenzilor poate lansa comenzi corespunzătoare doar regimului normal de funcţionare.

Pentru a putea fi implicat nemijlocit în conducerea operativă, modelul canonic trebuie să lucreze în asociere cu modelul secvenţial.

Elementul central al modelului secvenţial (fig. 2.2.) îl reprezintă blocul de supraveghere, realizat prin cuplarea unui etaj primar de achiziţie a datelor (blocul traductorilor) cu un bloc de identificare şi localizare a defectelor, a căror rezultate conduc la o nouă reprezentare a reţelei, obţinută în urma evenimentelor perturbatoare ale reţelei.

Noua topologie a reţelei poate furniza imediat o nouă evaluare pentru criteriul C2 (continuitate în alimentare), putînd fi elaborate comenzile optime (în blocul elaborare comenzi). De această dată, comenzile (mărimi de intrare pentru modelul secvenţial) sunt manevre ale aparatelor de conectare, destinate să conducă structura cu defect a RED-MT către o nouă configuraţie, care să maximizeze criteriul C2. Se remarcă apariţia acestui nou vector al mărimilor de comandă, care completează vectorul de comandă al modelului canonic. Mărimea de ieşire pentru modelul secvenţial este disponibilitatea energiei electrice în fiecare nod, criteriul C2 fiind numai calitativ.

In modelul secvenţial, starea sistemului este descrisă prin topologia la un moment dat, cît şi prin impedanţele implicate (şi care sunt toate considerate variabile, prin considerarea avariei în evoluţia ei lentă sau intempestivă).

Problema realizabilităţii modelului secvenţial se pune începând de la blocul traductorilor. Nivelul tensiunii limitează însă drastic numărul traductorilor ce pot fi montaţi, iar extinderea în teritoriu, pe o arie geografică mare a elementelor de reţea (PA, PT, distribuitori) constituie de asemenea obstacole majore în dezvoltarea unui sistem de măsură complet, care să urmărească, fie şi local, toţi parametrii care definesc starea de regim normal sau de avarie.

Scanned with OKEN Scanner

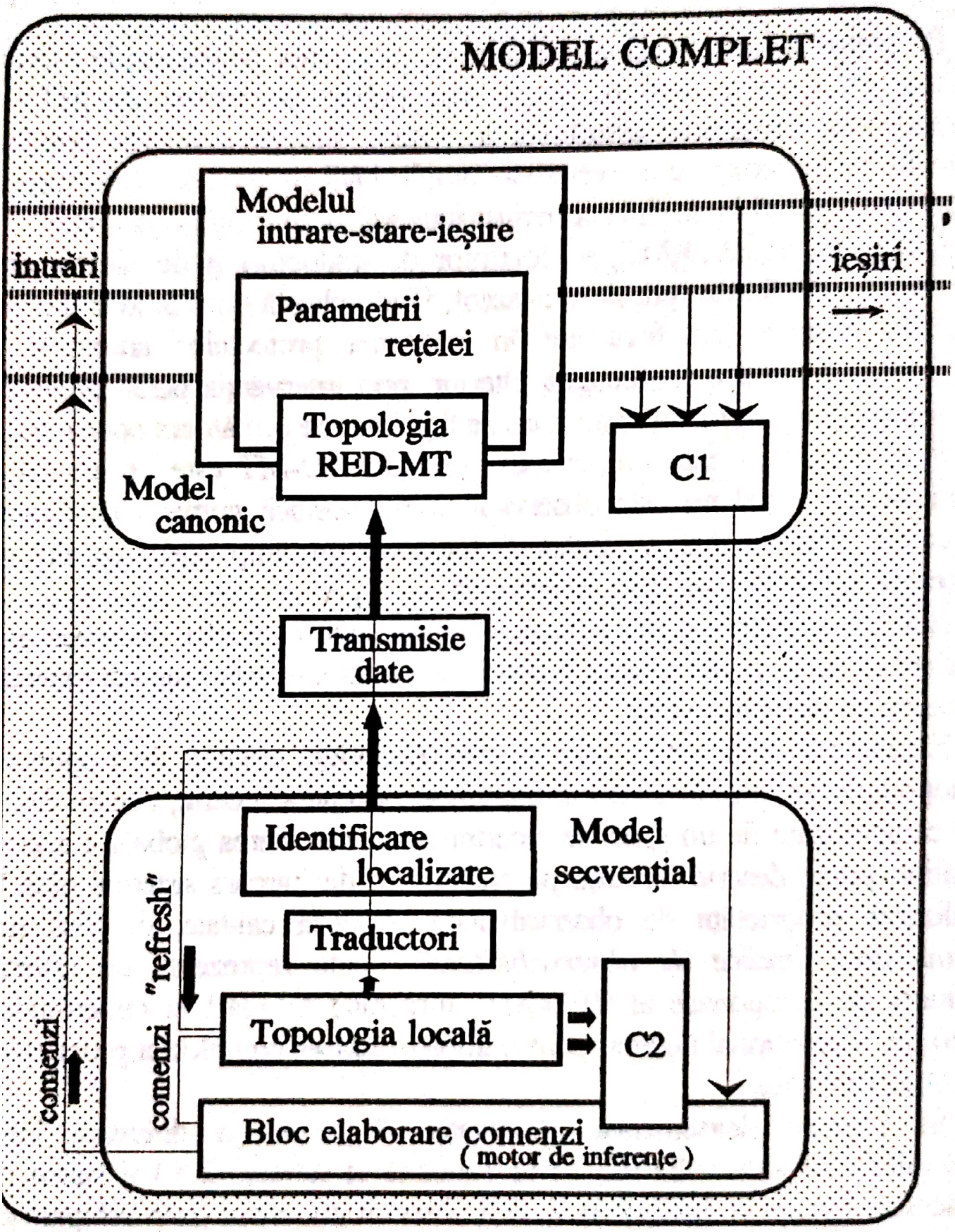


fig 2.2

Scanned with OKEN Scanner

Pe seama celor de mai sus se impune reducerea punctelor de măsură (numai în anumite noduri, şi cît mai puţine pe partea de MT) şi amplificarea inteligenţei distribuite în sistem. Rezultă scăderea ponderii blocului traductorilor, şi o creştere a complexităţii blocului de identificare şi localizare, care să-i permită acoperirea unei arii cît mai întinse din reţea.

Utilizarea, în RED-MT, a blocurilor de traductori şi de identificare-localizare, este foarte redusă în prezent, fiind aplicată doar la identificarea avariilor majore (cu finalizare în excitarea protecţiilor automate), localizarea urmînd a fi efectuată ulterior, prin intervenţia personalului de exploatare-întreţinere. Această stare de fapt impune următoarea concluzie:

In condiţiile în care modelul canonic al RED-MT este observabil şi modelul secvenţial nu este observabil (fiind posibilă numai identificarea defectele majore, fără a aputea fi localizate în timp real), rezultă că **sistemul RED-MT nu este observabil.**

Această concluzie a stat la baza elaborării acestei lucrări, deoarece este evident că nu se poate asigura o conducere optimală, atât timp cât sistemul în cauză nu este observabil.

Exploatarea unui sistem care nu este observabil, tendinţa de a optimiza funcţionarea sa, pun în evidenţă mulţimea mărimilor incerte, fiecare dintre ele caracterizate de un grad de incertitudine. Aprecierea globală a acestei mulţimi poate descrie distanţa pe care o are de parcurs sistemul pînă la realizarea proprietăţii de observabilitate. Această calitate, descrisă sub forma unui *"indice de observabilitate"*, poate reprezenta un criteriu calitativ de funcţionare al RED-MT, furnizând totodată şi dimensiunea efortului investiţional necesar pentru implementarea completă a proprietăţii de observabilitate.

Se impune deasemenea observaţia că există o diferenţă între oservabilitatea sistemului RED-MT (definită în subcap. 2.5.) şi starea de observare în care el funcţionează. A fi observat un sistem (prin echipare cu traductori şi sisteme de achiziţie a datelor) nu îi conferă automat şi proprietatea de observabilitate, verigă a conducerii optimale.

Scanned with OKEN Scanner

Creşterea observabilităţii se realizează gradual, prin:

1. Realizarea observabilităţii locale (la nivelul elementelor concentrate ale RED : PA, PT) prin implementarea unui set omogen de metode de identificare şi localizare a defectelor, cu mijloace corespunzătoare (cap. 6 - 9);

2. Realizarea observabilităţii totale, prin realizarea fluxului de date necesar modelului canonic (organizarea punctului de dispecer asistat de o structură inteligentă [30]).

Scopul final al acestui efort îl reprezintă posibilitatea implementării sistemelor expert în RED-MT. Nu trebuie neglijat faptul că energetica a fost printre primele domenii care şi-au dezvoltat sisteme expert, că acestea se dezvoltă în continuare, înglobând cuceririle de frontieră ale ciberneticii (reţele neuronale artificiale, de ex.). Dezvoltarea infrastructurii informaţionale a RED-MT nu este destinată decât micşorării unui decalaj deja important între disponibilităţile de mijloace informatice şi gradul redus de observabilitate al RED-MT.

Scanned with OKEN Scanner

CAP.3. OBSERVABILITATEA, COMPONENTĂ A CONCEPTULUI DE SIGURANŢĂ ÎN FUNCŢIONARE

3.1. FACTORII CARE DEFINESC SIGURANŢA ÎN FUNCŢIONARE.

Aşa cum este cunoscut din literatura de specialitate şi din practica conducerii operative, indicatorii globali de siguranţă în funcţionare ai unui sistem (industrial - S.I., electroenergrtic - S.E.) sunt determinaţi în mare măsură de calitatea activităţii de conducere a acesteia. Această calitate este determinată, pe de o parte, de dotarea sistemului respectiv cu echipamente de control, supraveghere (observare), iar pe de altă parte, de calificarea profesională a celor ce asigură activitatea de conducere.

Conceptul de siguranţă a unui sistem se compune din mai mulţi factori, fiecare dintre ei referindu-se la o anumită componenţă a sistemului (concepere, proiectare, execuţie, exploatare).

Fiabilitatea este o calitate a fiecărui element, sau ansamblu de elemente a unui sistem şi reprezintă aptitudinea acestora de a-şi îndeplini rolul funcţional în condiţii prestabilite şi într-un anumit interval de timp [35]. Este evident că, asupra indicatorilor de fiabilitate ai elementelor unui sistem, calitatea activităţii de conducere a acestuia are efecte în măsura în care o eroare de conducere determină deteriorarea unor elemente ale sistemului.

Mentenabilitatea este tot o calitate a unui element sau ansamblu de elemente care se referă la posibilitatea ca acesta (acestea) să poată fi înlocuit (e) sau reparat (e) într-un timp dat, printr-o metodologie precisă. Această componentă a siguranţei în funcţionare este nemijlocit legată de activitatea de exploatare a unui sistem şi ca urmare îi este asociată noţiunea de mentenanţă, care este ansamblul de mijloace şi

Scanned with OKEN Scanner

măsuri de control, încercare, întreţinere şi reparare aplicabile în scopul menţinerii, sau redobândirii, fiabilităţii iniţiale a elementelor.

O componentă mai cuprinzătoare a conceptului de siguranţă în funcţionare o reprezintă disponibilitatea unui produs sau ansamblu (format din mai multe produse) şi este starea în care acesta este apt să-şi îndeplinească rolul funcţional, fiind în stare efectivă de funcţionare. Indicatorii sintetici sunt timpul de disponibilitate (t_d) respectiv, indisponibilitate (t_n), care sunt determinaţi în mod direct de calitatea conducerii unui sistem. Indisponibilitatea a devenit, de exemplu, o problemă în electroenergetica mondială datorită: neasigurării unei concordanţe între activitatea de mentenanţă (conducere) şi complexitatea noilor instalaţii componente ale S.E.; nerealizarea unui devans în pregătirea tehnică a personalului de conducere faţă de introducerea în exploatare a noilor instalaţii. Semnificativ în acest sens, este faptul că ţările care cheltuiesc mai puţin cu pregătirea personalului au şi disponibilitate cea mai redusă [35]. Deci disponibilitatea este o noţiune mai amplă care pune în evidenţă compatibilitatea dintre sistem şi personalul care-l conduce. Ca urmare şi premizele de realizare a indicatorilor de disponibilitate, prognozaţi prin proiect, pentru un sistem sau subsistem, ţin în mare parte de interdependenţa dintre acesta şi personalul uman care îl conduce. Dintre aceste premize se impun a fi menţionate următoarele:

- realizarea nivelului tehnic de pregătire profesională a personalului de concepţie, fabricaţie, montaj, conducere şi mentenanţă. Aceasta se poate asigura prin pregătirea în şcoli şi institute de învăţământ superior şi printr-o pregătire suplimentară în timpul specializărilor;
- nivelul activităţii de mentenanţă, pe seama unei politici de mentenanţă, bazată pe experienţa din alte ţări cu tradiţie în domeniul electroenergetic. Aceasta constă într-o diagnosticare (observare) corectă şi la timp a defectelor şi în acţiuni de mentenanţă preventivă la momentul oportun. Diagnosticarea se bazează pe un ansamblu de informaţii sistematic colectate din sistem (subsistem) şi apoi prelucrate. Această activitate necesită un nivel ridicat de observare şi control al sistemului (componentelor) precum şi o dotare tehnică

Scanned with OKEN Scanner

corespunzătoare în scopul prelucrării, stocării şi interpretării informaţiilor.

Să analizăm, pentru un caz concret (producerea, identificarea, localizarea, remedierea şi repunerea sub tensiune a unei linii electrice în cablu (LEC)), cum este influenţat timpul de disponibilitate (t_d), respectiv de indisponibilitate (t_n) de posibilităţile de conducere şi observare a unei reţele electrice de distribuţie (RED), fig.3.1.

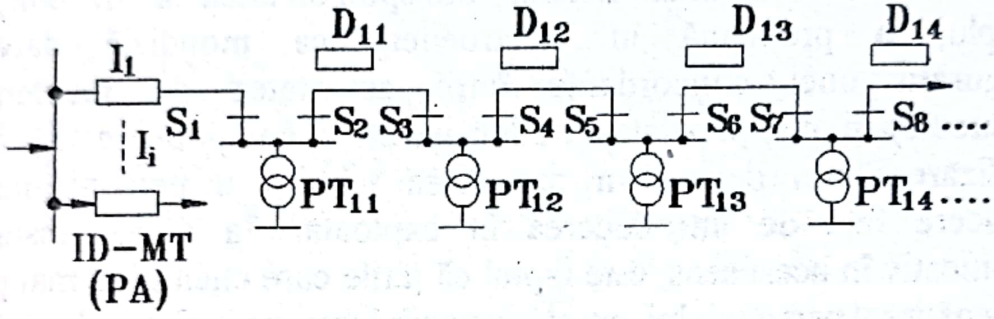


fig.3.1

Pornind de la durata fiecărei operaţii, care urmează din momentul producerii unui defect şi până în momentul realimentării (dacă este posibil) pe o altă cale, respectiv până la revenirea la situaţia normală, aşa cum era înainte de producerea defectului, se poate determina atât durata întreruperii alimentării (t_{INT}) cât şi durata de revenire la situaţia normală (t_{REV}), astfel:

$$t_{INT} = t_d + t_{loc} + t_{depl} + t_{manevre1} \quad (3.1)$$

$$t_{REV} = t_d + t_{loc} + t_{depl} + t_{manevre1} + t_{manevre2} + t_{ref} \quad (3.2)$$

unde:

t_d - timpul după care defectul este deconectat automat prin acţiunea dispozitivelor de protecţie;

t_{loc} - timpul după care se localizează defectul (distribuitor, fază, tronson);

Scanned with OKEN Scanner

t_{depl} - timpul în care echipa de intervenţie se deplasează la locul cu defect în scopul efectuării de manevre la faţa locului;

$t_{manevre1}$ - timpul în care, prin manevre, se separă zona (tronsonul) cu defect şi se asigură realimentarea;

t_{ref} - timpul în care se remediază tronsonul cu defect;

$t_{manevre2}$ - timpul în care, prin manevre, se revine la starea normală a reţelei;

Cât priveşte durata întreruperilor în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor din reţeaua de joasă tensiune se constată că aceasta este determinată în mai mare măsură de defectele din reţeaua de medie tensiune. Această situaţie este determinată direct de valorile mari ale timpului (t_{INT}), pe seama valorilor actuale mari ale timpilor în care se localizează (t_{loc}) (observă) şi se fac manevrele în scopul asigurării realimentării ($t_{manevre1}$) precum şi a timpului în care echipa se deplasează în scopul efectuării de manevre, aceasta deoarece RED-MT se desfăşoară pe o arie geografică relativ mare (un oraş).

Deşi distribuitorii unei RED-MT au întrerupătoare numai pe capătul dinspre sursă, pentru a asigura localizarea completă a unui defect sunt necesare dispozitive (Dij) fig.3.1, care să semnalizeze (observe) existenţa unui defect pe capătul dinspre sursă al fiecărui tronson, aşa cum există, în prezent, clapeţi de semnalizare pentru localizarea scurtcircuitelor. Dacă starea acestor dispozitive poate fi lecturată de la distanţă, atunci durata localizării (t_{loc}) s-ar reduce la valori de ordinul secundelor.

Pentru dispozitivele Dij necesare localizării s-au elaborat metode şi s-au realizat dispozitivele cu care se identifică şi se localizează punerile monofazate la pământ; acestea se pot lectura şi de la distanţă [17].

Pentru localizarea scurtcircuitelor s-a propus şi o metodă de localizare a scurtcircuitelor bazată pe controlul tensiunilor în fiecare PT, prin tensiunea de pe partea de joasă tensiune a acestora; această metodă, prin mijloacele de aplicare, permite o mai uşoară lecturare de la distanţă a acestora şi ca urmare reducerea duratei în care se localizează un defect, (t_{loc}) [18].

Scanned with OKEN Scanner

Reducerea duratei în care se efectuează manevrele ($t_{manevre1}$, în special), depinde de nivelul de controlabilitate al rețelei, mai ales în cazul RED-MT care sunt răspândite pe o arie geografică relativ mare.

Creşterea nivelului de control a RED-MT, la nivelul celorlalte componente ale unui sistem electroenergetic (SE), se poate realiza numai prin introducerea unei structuri de calcul [17;28].

3.2. CONCEPTUL INTEGRAL DE DISPONIBILITATE, FIABILITATE ŞI MENTENANŢĂ.

Disponibilitatea a devenit o problemă complexă cu metode de calcul, principii economice şi de organizare proprii.

Conținutul noțiunii de disponibilitate a evoluat continuu, devenind în prezent un concept integrat.

Conform organismelor internaționale şi naționale (CEI, CIERE, STAS 8174/377):

"Disponibilitatea unui dispozitiv oarecare este definită ca aptitudinea dispozitivului considerat de a-şi îndeplini funcția specifică, la un moment dat, s-au într-un interval de timp, considerând aspectele combinate de fiabilitate, mentenabilitate şi mentenanță "[35].

In [35] se apreciază că această definiție este îngustă privind conținutul şi foloseşte o terminologie improprie, de exemplu: noțiunea de dispozitiv şi nu de element sau sistem.

Indicatorii de disponibilitate şi indisponibilitate la sistemele de producere a energiei se determină:

a) pe bază de timp:

$$D_T = \frac{T_f}{T_f + T_{ment.\,pr.} + T_d} \cdot 100 \qquad (3.3)$$

$$I_T = \frac{T_d + T_{ment.\,pr.}}{T_f + T_{ment.\,pr.} + T_d} \cdot 100 \qquad (3.4)$$

unde:

Scanned with OKEN Scanner

T_f - este timpul de funcţionare;

$T_{ment..pr}$ - este timpul ce include totalitatea acţiunilor de revizie şi reparaţii planificate (mentenanţă preventivă);

T_d - este timpul ce include perioadele de avarie (mentenanţă corectivă).

Evident, $T_f + T_{ment.pr.} + T_d = T_c$, reprezintă timpul caracteristic la nivelul unui an.

b) pe bază de puteri:

$$D_p = \frac{P_{prod}}{P_{nom}} \cdot 100 \qquad (3.5)$$

$$I_p = \frac{P_{nom} - P_{prod}}{P_{nom}} \cdot 100 \qquad (3.6)$$

c) pe bază de energii:

$$D_E = \frac{E_{prod}}{8760 \cdot P_{nom}} \cdot 100 \qquad (3.7)$$

$$I_E = \frac{8760 \cdot P_{nom} - E_{prod}}{8760 \cdot P_{nom}} \cdot 100 \qquad (3.8)$$

Un real interes prezintă compararea indicatorilor de disponibilitate prognozaţi în faza de proiect cu cei determinaţi pe baza datelor de exploatare.

Scanned with OKEN Scanner

3.2.1. Premizele realizării indicatorilor de disponibilitate prognozaţi prin proiect.

In faza de concepţie proiectantul prognozează indicatorii de disponibilitate ai obiectivului proiectat pe seama [35]:

- cunoaşterii indicatorilor de fiabilitate ai elementelor componente, din statistica funcţionării unor elemente similare, prelucrarea datelor rezultate, din testele efectuate de furnizor sau din studii speciale efectuate în acest scop;
- cunoaşterea contextului în care s-au determinat indicatorii de fiabilitate şi disponibilitate ai elementelor componente şi a condiţiilor în care va evolua noul obiectiv;
- folosirii modelului probabilistic cel mai adecvat, în scopul calculării indicatorilor de fiabilitate şi disponibilitate.

Se vor prezenta în continuare premizele realizării indicatorilor de disponibilitate prognozaţi prin proiect şi anume:

1) - garantarea indicatorilor de fiabilitate şi disponibilitate de către firmele furnizoare;

2) - realizarea nivelului tehnic de pregătire profesională a personaluluide conducere, exploatare, mentenanţă, fabricaţie, montaj şi concepţie. In concordanţă cu complexitatea şi tehnicitatea noilor instalaţii, în scopul asigurării, în exploatare, a nivelului de fiabilitate şi disponibilitate prognozat, concepţia actuală a elaborării statisticilor privind comportarea în exploatare a instalaţiilor energetice şi a clarificării cauzelor care au condus la avarii, evidenţiază în mică măsură ponderea erorilor umane. Se constată o anumită incompetenţă profesională manifestată la toate fazele de realizare a unui obiectiv. Aceste ponderi în statisticile actuale reprezintă 2-5%, dar reexaminate, în spiritul noii concepţii a statisticii, aceste erori pot atinge ponderi de 50-70%. Aceste interpretări îşi au originea şi în măsurile coercitive asupra personalului, fără să se înţeleagă că responsabilitatea selectării, autorizării, admiterii la lucru şi testării profesionale revine societăţii, respectiv companiilor, firmelor organizatoare.

In pregătirea profesională a personalului, autorizat să îndeplinească anumite servicii, se disting două componenete [35]:

Scanned with OKEN Scanner

a) pregătirea obţinută în şcolile sau institutele de specialitate, care reprezintă o pregătire tehnică generală;

b) pregătirea suplimentară, prin cursuri de specializare şi care au ca scop formarea personalului la nivelul cerinţelor instalaţiilor pe care urmează să le conducă, exploateze sau să le întreţină.

Ecuaţia pregătirii profesionale se poate scrie astfel:

$$N_{p,t} = n_{b,t} + \Delta n_s \qquad (3.9)$$

unde:

- $N_{p,t}$ este nivelul profesional în anul autorizării admiterii la lucru, respectiv anul (t);
- $n_{b,t}$ este nivelul pregătirii de bază, obţinută în şcoli sau institute;
- Δn_s este nivelul cunoştinţelor suplimentare şi care se obţin în trei etape: pe baza manualelor de exploatare şi întreţinere; prin aprofundarea pregătirii cu ajutorul simulatoarelor; prin apelarea la un calculator electronic consultant.

Fundamentală, în pregătirea profesionala suplimentară, este pregătirea pe bază de manual.

3) - existenţa programelor de calitate, a normelor, standardelor şi prescripţiilor, care reglementează, pe bază cuantificată şi strict legiferată, relaţiile dintre proiectanţi, furnizori, monteuri şi beneficiari (cei ce conduc şi exploatează).

4) - nivelul activităţilor de mentenanţă, necesar asigurării indicatorilor de fiabilitate şi disponibilitate prognozaţi. Politica de mentenanţă trebuie să aibă la bază experienţa din alte ţări şi să fie în concordanţă cu realităţile din fiecare ţară.

Diagnosticarea (observarea) corectă determină prevenirea apariţiei unor avarii prin acţiuni de mentenanţă prevenită la momentul oportun.

3.2.2. Conducerea şi exploatarea - activităţi ce asigură nivelul de disponibilitate prognozat.

In acest scop, pe perioada exploatării instalaţiilor trebuie să se organizeze, în mod distinct, o serie de activităţi şi anume [35;50].

Scanned with OKEN Scanner

1) Colectarea, prelucrarea şi stocarea datelor cu privire la comportarea şi exploatarea instalaţiilor şi a elementelor componente şi editarea periodică a sintezelor privind fiabilitatea şi disponibilitatea instalaţiilor.

2) Tehnica diagnosticării instalaţiilor şi expertizării avariilor. Indicatorii de fiabilitate şi disponibilitate ai unei instalaţii variază în timp; diagnosticarea stării unei instalaţii face posibilă intervenţia la momentul oportun în scopul unor acţiuni de mentenanţă preventivă.

3) Organizarea acţiunilor de mentenanţă în concordanţă cu complexitatea instalaţiilor. In ce priveşte acţiunile de mentenanţă, pe plan mondial, sunt două puncte de vedere şi anume:

- efectuarea mentenanţei preventive conform unei planificări prealabile;
- efectuarea acesteia pe baza evoluţiei parametrilor şi performanţelor instalaţiilor în momente ce rezultă ca necesare din diagnosticarea sistematică a acestora.

4) Testarea sistematică şi periodică a pregătirii personalului de conducere şi exploatare, ce are ca scop stimularea personalului şi verificarea concordanţei dintre nivelul cunoştinţelor şi a compatibilităţii acestuia cu cerinţele instalaţiei ce o deserveşte. Realizarea unei compatibilităţi perfecte în sistemul om-maşimă este o garanţie a creşterii indicatorilor de disponibilitate.

5) Interdependenţa dintre instalaţii şi formele de organizare. Asigurarea indicatorilor de disponibilitate prognozaţi, impune forme de organizare adecvate a conducerii şi exploatării. In mod logic se impun următoarele forme de organizare:

- în faza de rodaj şi intrare în exploatare, un departament "PUNERE ÎN FUNCŢIUNE" care îşi încetează activitatea la atingerea indicatorilor proiectaţi;
- în timpul exploatării normale, inclusiv în perioada punerii în funcţiune, departamentele TEHNIC, MENTENANŢĂ, EXPLOATARE.

Scanned with OKEN Scanner

3.3. SIGURANŢA ÎN FUNCŢIONARE.

Nu se cunoaşte o definiţie clară şi completă a conceptului de siguranţă în funcţionare, care cuprinde total sferele noţiunilor de fiabilitate, mentenabilitate, mentenanţă, disponibilitate, dar include total sau parţial şi sferele altor noţiuni ca redonanţă, pertinanţă, etc. [35].

Ea este rezultanta calităţilor intrinseci ale instalaţiei şi a unor fenomene circumstanţiale, determinate sau aleatorii, respectiv a interacţiunilor şi condiţionărilor în relaţia instalaţie-om-mediu.

Intr-o formulare succintă, siguranţa în funcţionare este:"capacitatea unui sistem sau componentă a acestuia, de a-şi îndeplini misiunea pe o perioadă dată de timp, în condiţii de utilizare (exploatare) date, cu un risc predeterminat (prognozat) de defectare, respectiv de asigurare a continuităţii în funcţionare şi cu cheltuieli medii probabile predeterminate, provocate de defectele apărute în perioada luată în considerare, la consumator şi în sistemul de alimentare".

Siguranţa în exploatare a unei instalaţii energetice este o calitate a acesteia, determinată de configuraţia sa, de caracteristicile tehnice (fiabilitatea) ale componentelor sale, de dotarea tehnică cu dispozitive de protecţie, automatizare, control, comandă, măsură, de modul de organizare a exploatării, de regimul său de funcţionare, pe seama unor criterii de optimizare a funcţionării, de condiţiile de mediu şi de o serie de factori externi imprevizibili (fenomene ale naturii, intervenţii neprevăzute ale unor persoane străine, etc.).

Cantitativ, siguranţa în funcţionare se poate estima printr-un număr de indicatori, dintre care cei mai importanţi sunt:

- gradul de asigurare al continuităţii, sau grad de satisfacere, care exprimă raportul dintre timpul de funcţionare (T_f) (satisfacere) dintr-un interval de timp dat (de regulă un an) şi durata acestui timp calendaristic T_c:

$$C = \frac{T_f}{T_c} = \frac{T_f}{T_f + T_n} \qquad (3.10)$$

Scanned with OKEN Scanner

unde T_n este timpul de nesatisfacere.

Acestui indicator, global i se asociază o serie de alţi indicatori dintre care mai importanţi sunt:

- numărul probabil de întreruperi a funcţionării în timpul considerat (n_p);
- durata medie probabilă a unei întreruperi (d_m):

$$d_m = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_i}{n} \tag{3.11}$$

unde: t_i este durata întreruperii i, iar n este numărul total de întreruperi.

- durata maximă probabilă a unei întreruperi. Produsul dintre n şi d_m reprezintă timpul de nefuncţionare (T_n);
- cheltuieli medii suplimentare apărute în instalaţie, ca urmare a întreruperii funcţionării;
- daunele medii probabile, provocate consumatorilor deserviţi de instalaţie.

Scanned with OKEN Scanner

CAP.4. OBSERVABILITATEA RED-MT, CONȚINUT, NECESITĂȚI ȘI POSIBILITĂȚI.

Așa cum s-a arătat în cap.3 asigurarea controlului și observării (prin dispozitivele de comandă, semnalizare, măsură, protecție și automatizare) unui sistem depinde de numărul mărimilor necesare pentru ai caracteriza starea, la un moment dat, de posibilitățile tehnice de relevare a acestora și a le face accesibile în scopul adoptării unei decizii.

Numărul mărimilor necesare, așa cum se va vedea, depinde în mod direct și de configurația rețelei ce face obiectul activității de control și observare.

4.1. SOLUȚII DE INCADRARE IN SISTEMUL ELECTROENERGETIC A RED-MT.

Din cele prezentate în cap.1, RED reprezintă o componentă a unui sistem electroenergetic prin intermediul căreia se distribuie energia electrică în perimetrul unei aglomerări urbane (REDU), a unei platforme industriale (REDPI), a unui consumator industrial (REDI), sau a unei zone rurale (REDR) și care, de regulă, nu alimentează direct receptori. Datorită puterilor și a distanțelor la care se distribuie acestea, tensiunile nominale ale acestor rețele, de regulă, se înscriu în clasa rețelelor de medie tensiune.

Evident, sursa de alimentare pentru orice componentă a unui S.E. o reprezintă centralele electrice. Datorită clasei de tensiuni a RED, alimentarea lor se face de la un punct de conexiuni (instalație de distribuție) de medie tensiune (ID-MT) [1;19]. In fig. 4.1 se prezintă unele soluții de încadrare a RED-MT în cadrul S.E., în mod deosebit în cazul unor mari centre urbane.

In cazul RED-MT-1 se întâlnește cazul particular al existenței în apropiere a unei centrale electrice de sistem, cu care RED-MT este conectată direct pe barele ID-MT-1. Existența unei asemenea centrale electrice este determinată, de regulă, de necesitatea asigurării și a

Scanned with OKEN Scanner

energiei termice pentru reţeaua de termoficare şi a aburului tehnologic pentru necesităţi industriale.

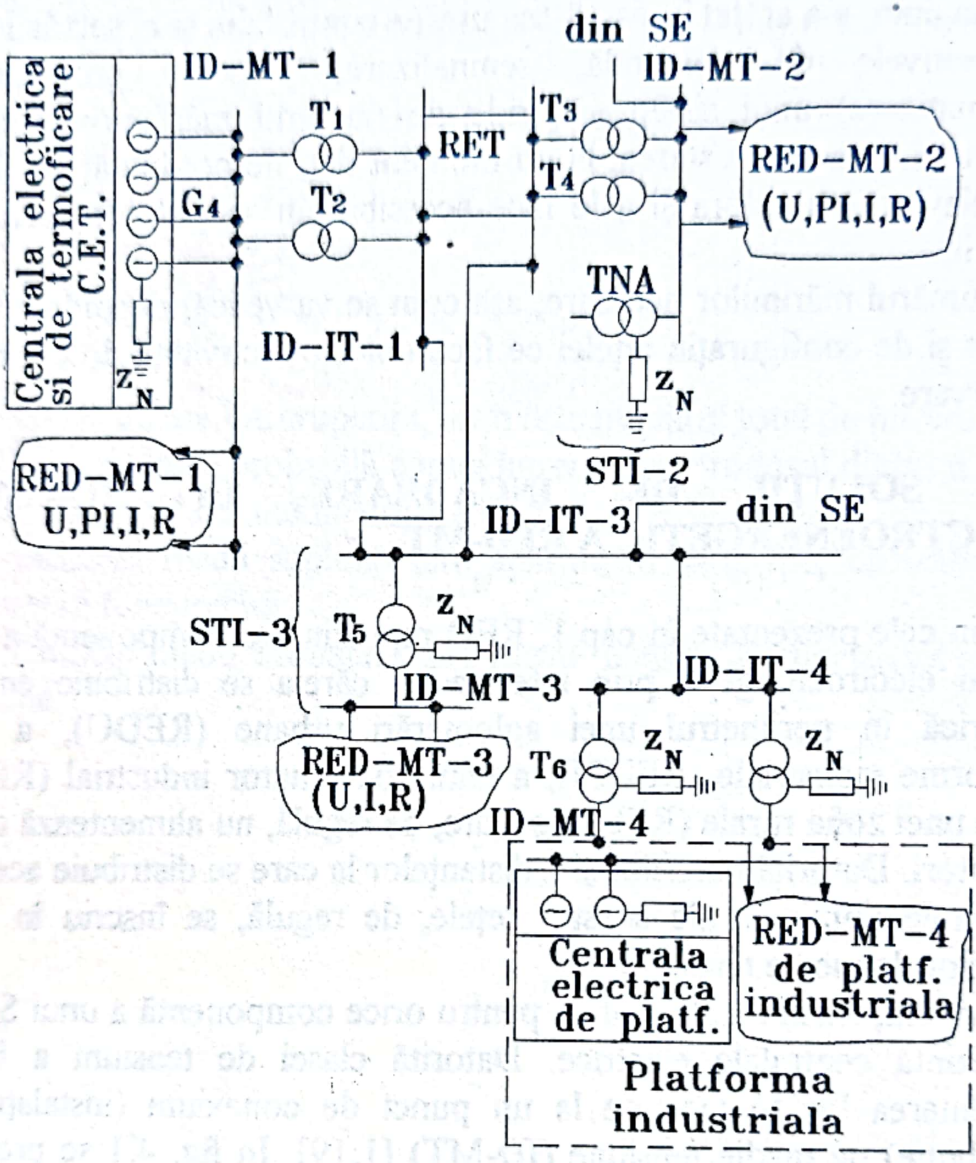


fig.4.1

Pentru RED-MT 2 şi 3 sursa de alimentare o reprezintă ID-MT-2 şi 3 ale staţiilor de transformare şi interconexiune (STI-2, 3).

Un caz particular îl reprezintă RED-MT-4, al unei platforme industriale care are în componenţa sa şi o centrală electrică proprie.

Aşa cum este cunoscut [14; 15; 36; 37] transformatoarele din staţiile de transformare şi interconexiune (STI) au înfăşurările de pe partea de înaltă tensiune conectate în stea (Y), iar înfăşurările de pe partea de medie tensiune sunt conectate în triunghi (Δ) sau în stea cu neutrul legat la pământ (Y_0) prin impedanţa (Z_N) fig.4.1. Generatoarele conectate direct la RED-MT au înfăşurările conectate în stea cu neutrul izolat sau legat la pământ prin Z_N.

4.2. ANALIZA RED-MT DIN PUNCT DE VEDERE A OBSERVABILITĂŢII.

Reţelele electrice de distribuţie de medie tensiune (RED-MT) pentru aşi îndeplini rolul menţionat în cap.1, la parametrii de calitate [1] dintre care, unii au fost evidenţiaţi în cap.3, trebuie să aibă o configuraţie corespunzătoare şi să dispună de posibilităţile de conducere (control, observare, coordonare), respectiv de un punct de dispecer cu o dotare adecvată.

In principiu o RED-MT este constituită din puncte de conexiuni (PA, PT-elemente concentrate) şi linii electrice de legătură între acestea, într-o configuraţie determinată de cerinţele de siguranţă în funcţionare.

Punctele de conexiuni sunt formate din aparate de comutaţie (întrerupătoare, separatoare şi siguranţe fuzibile), de măsură (transformatoare de măsură de tensiune şi curent) şi bare colectoare, într-o configuraţie impusă tot de cerinţele de siguranţă în funcţionare [19].

In cadrul activităţii de conducere a unei RED-MT, personalul de conducere operativă trebuie să poată interveni (controla) asupra aparatelor de comutaţie (care au proprietatea de a fi controlabile), trebuie să fie informat asupra efectelor intervenţiilor sale sau a dispozitivelor de automatizare şi protecţie, precum şi asupra stării, la un moment dat, a elementelor RED-MT.

Scanned with OKEN Scanner

4.2.1. Natura mărimilor ce trebuiesc observate.

Posibilitățile de comandă (intervenție) asupra unui proces (RED-MT), mulțimea mărimilor de comandă, reprezintă proprietatea de controlabilitate a acestuia. Deşi această proprietate nu face obiectul nemijlocit al acestei lucrări, ea determină direct mulțimea mărimilor ce trebuiesc observate în respectivul proces, în mod deosebit într-o RED-MT, deoarece în urma unei comenzi se schimbă poziția sau starea unui aparat comandat, respectiv configurația RED-MT.

Pentru o RED-MT, cuprinsă, aşa cum s-a precizat, între plecările de MT din ID-MT din STI şi punctul de delimitare cu un abonat racordat la medie tensiune sau PT din RED-MT urbană, mulțimea mărimilor ce fac obiectul unei acțiuni de comandă (intervenție din afară) este formată din comenzi de:

a) anclanşare-declanşare manuală de pe aparat a întrerupătoarelor (comandă manuală de pe aparat CMA), respectiv din celula de medie tensiune în care este montat. Acest gen de comandă este specifică PA şi PT care nu au personal de conducere operativă şi deservire, respectiv camere de comandă;

b) anclanşare-declanşare manuală de la distanță a întrerupătoarelor (CMD), prin intermediul schemelor de comandă, care se poate transmite din camera de comandă a ID-MT din care face parte celula cu întrerupătorul respectiv. Acest gen de comandă nu este specific pentru PA şi PT. Un caz evoluat de comndă manuală de la distanță îl constituie telecomanda (TCM), care se transmite de la punctul de dispecer al RED-MT (sistem de conducere), către întrerupătoarele din PA şi PT. Evident, acest gen de comandă se întâlneşte numai în RED-MT dotate cu un sistem de conducere adecvat [18;17].

c) anclanşare-declanşare automată. Toate întrerupătoarele sunt prevăzute cu declanşare automată locală (de pe aparat-CAA) la acțiunea dispozitivelor de protecție la suprasarcină sau scurtcircuit. Comanda automată de declanşare mai poate fi primită de la dispozitive de automatizare tip DAS, (descărcarea automată de sarcină) [18]; acest gen de comandă, de regulă, nu se utilizează în rețelele urbane, ce

Scanned with OKEN Scanner

alimentează consumatori casnici-edilitari şi se transmite numai la anumite întrerupătoare şi este, de regulă, locală.

Comanda automată de anclanşare, de pe aparat în RED-MT se întâlneşte destul de rar, ea putând fi transmisă de dispozitive de automatizare tip [18]: RAS (reanclanşarea automată a sarcinii), RAR (reanclanşare automată rapidă) sau AAR (anclanşare automată a alimentării de rezervă), montate, de regulă, în celula întrerupătorului.

d) închiderea-deschiderea separatoarelor, care este numai manuală, de pe aparat. Dacă separatorul este prevăzut cu dispozitiv de acţionare (servomecanism) atunci acesta poate fi comandat manual şi de la distanţă (eventual telecomandat).

Aşa cum este cunoscut [18] şi din cele prezentate mai sus, în cazul unui întrerupător (care poate fi comandat şi automat) poziţia acestuia (închis-deschis) poate fi detrminată de două tipuri de comenzi (manuală şi automată). Din acest motiv s-a introdus şi noţiunea de stare, care evidenţiază şi natura comenzii care a determinat o anumită poziţie; rezultă patru stări ale unui întrerupător: declanşat manual, declanşat automat, respectiv anclanşat manual sau automat. Pentru personalul de conducere şi deservire operativă fiecare din cele patru stări trebuie să fie observate.

Ca urmare, pentru o RED-MT, mulţimea mărimilor ce trebuiesc cunoscute de către personalul de conducere şi deservire operativă, de care depinde proprietatea de observabilitate a acesteia, este formată din:

a) starea întrerupătoarelor;

b) poziţia separatoarelor;

c) acţiunea unui anumit dispozitiv de automatizare, indiferent dacă a determinat sau nu schimbarea stării unui întrerupător (exemplul specific îl reprezintă indicatorii de scurtcircuit-clapeţi de semnalizare);

d) valorile unor mărimi electrice, necesare gestiunii energiei electrice.

In contextul acestei lucrări, se vor urmări numai primele trei mărimi, de care depinde direct asigurarea continuităţii în alimentare.

Scanned with OKEN Scanner

Pe seama naturii comenzilor menţionate anterior, respectiv al posibilităţilor de control a unei RED-MT, observabilitatea acesteia este necesar să se asigure la trei nivele:

1) - la nivelul celulei din punctul de conexiuni în care este montat aparatul de conectare şi dispozitivul de protecţie sau automatizare;

2) - la nivelul camerei de comandă a punctului de conexiuni (dacă există);

3) - la nivelul punctului de dispecer (sistem coordonator).

Rezultă că, numărul mărimilor ce vor trebui observate, într-o RED-MT depinde de:

- numărul aparatelor de comutaţie (întrerupătoare, separatoare) al RED-MT;
- numărul punctelor de conexiuni (PA, PT), respectiv configuraţia RED-MT;
- posibilităţile de conducere (control)-local, de la distanţă sau telecomandat, existente în RED-MT.

4.2.2. Influenţa configuraţiei asupra observabilităţii RED-MT.

Datorită caracteristicilor particulare ale consumatorilor sau receptorilor cărora li se distribuie energia electrică sau sunt alimentaţi, reţelele electrice de distribuţie au unele caracteristici şi configuraţii diferite [1; 17; 19; 28].

4.2.2.1. Reţele electrice de distribuţie de medie tensiune urbane.

Indiferent de configuraţia unei RED-MT urbane, dar determinat de extinderea acesteia, se adoptă soluţia de tratare a neutrului. Aşa cum este cunoscut [14], există trei soluţii de tratare a neutrului: izolat ($Z_N = \infty$), compensat cu bobină de stingere ($Z_N = j\omega L$) sau legat la pământ prin rezistenţă limitatoare ($Z_N = R_N$). Adoptarea uneia din soluţii depinde de caracteristicile regimului de defect, de opţiunea specialiştilor dintr-o anumită ţară sau companie privată de producere şi distribuţie a energiei electrice.

Scanned with OKEN Scanner

Funcţionarea cu neutrul izolat are avantaje din punct de vedere a continuităţii în alimentare dar este limitată de amploarea reţelei, respectiv de limita de 10A a curentului de încărcare capacitivă a acesteia.

Legarea la pământ prin bobină de stingere are avantajele funcţionării cu neutrul izolat; la această soluţie se apelează când se depăşesc cei 10A menţionaţi, însă regimul de punere monofazată la pământ este dificil de identificat şi localizat [14; 43].

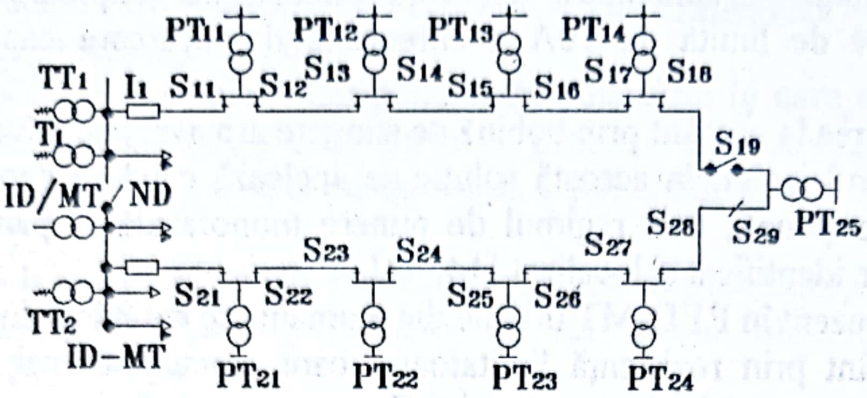
In prezent în RED-MT urbane din România se extinde soluţia legării la pământ prin rezistenţă limitatoare, care practic nu mai limitează amploarea reţelei şi permite o observare uşoară şi a defectului monofazat care, în acest caz, are caracteristicile unui scurtcircuit.

Excluzând cazul particular al unei mari întreprinderi amplasate în zona urbană (de locuit) a unui mare oraş, atunci RED-MT aferentă unei zone urbane distribuie energia electrică numai unor posturi de transformare.

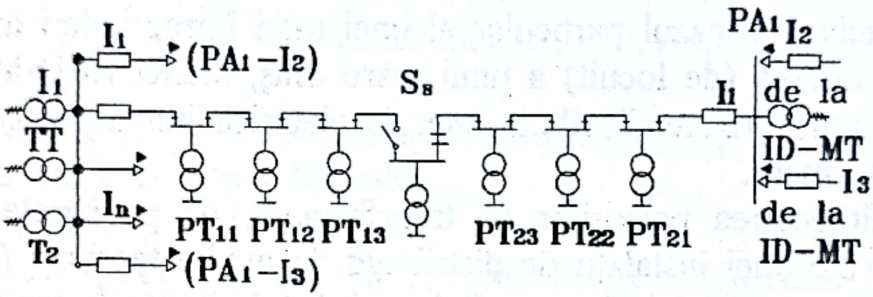
Alimentarea posturilor de transformare, de pe barele colectoare (BC) ale unei instalaţii de distribuţie de medie tensiune (ID-MT) se face, de regulă, prin intermediul unui distribuitor care are posibilitatea unei alimentări de rezervă, prin cuplarea cu un alt distribuitor. In regim normal de la un distribuitor sunt alimentate un anumit număr de PT, iar din necesităţi de asigurare a rezervei de alimentare acest număr poate să crească sau să scadă.

Caracteristica de bază a acestor distribuitori este că au aparate de comutaţie comandabile şi de la distanţă (întrerupătoare I_1; I_2) fig.4.3 şi dispozitive de protecţie ($DP_{1,2}$) numai în celula din instalaţia de distribuţie din care este alimentat. Ca urmare, indiferent pe care tronson (Tr) (linie electrică dintre două PT) al unui distribuitor s-ar produce un defect (K), prin acţiunea dispozitivelor de protecţie (DP_1, fig.4.3) asupra întrerupătorului I_1, este deconectat întreg distribuitorul. Deci datorită posibilităţii reduse de control zona afectată de un eventual defect (scoasă de sub tensiune) este mare (întreg distribuitorul). Pentru a putea apela la rezerva de alimentare asigurată de posibilitatea conectării la un alt distribuitor prin separatorul de secţionare S_S, fig.4.2, S_{19}, fig.4.3, trebuie separat tronsonul pe care s-a

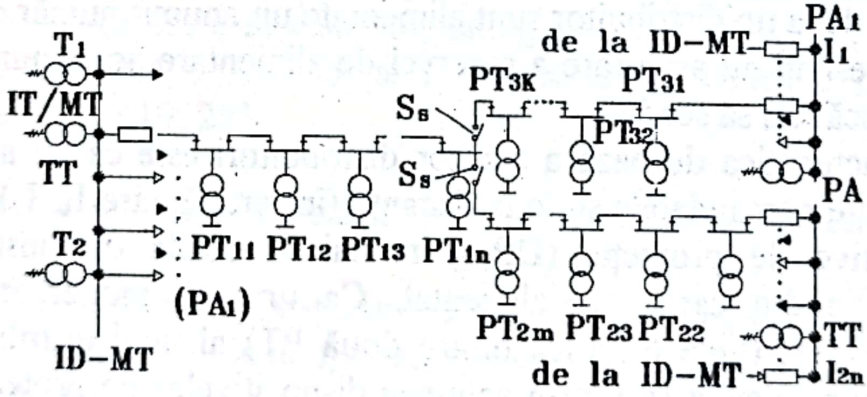
Scanned with OKEN Scanner



a)



b)



Ss – separator de sectionare

c)

fig. 4.2

TT – transformator de masura de tensiune
PT – post transformare
T_1 – transformator

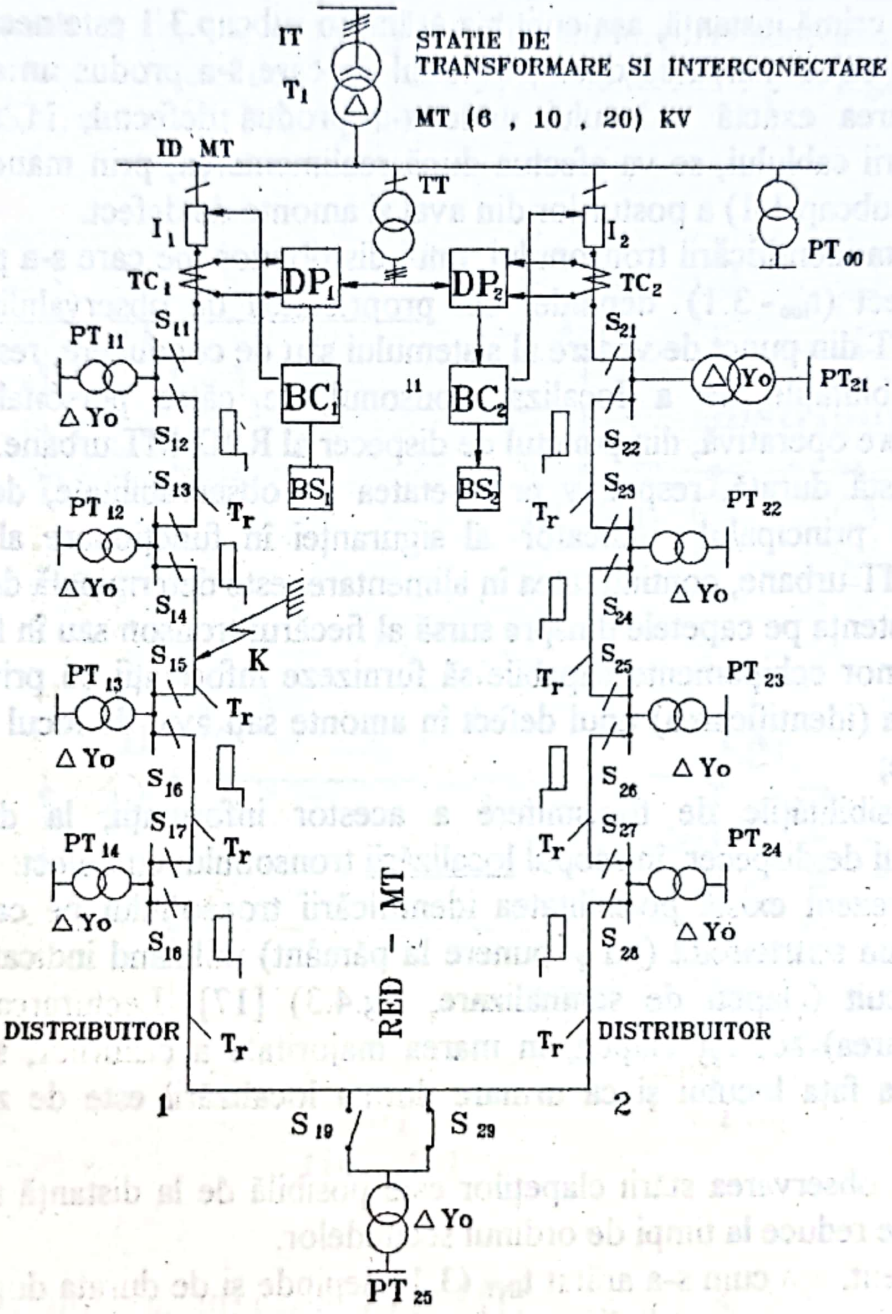


fig. 4.3

produs defectul (K), prin deschiderea separatoarelor (S_{14} şi S_{15}). Deci, în primă instanţă, aşa cum s-a arătat în subcap.3.1 este necesar şi suficient să se cunoască doar tronsonul pe care s-a produs un defect. Localizarea exactă a locului unde s-a produs defectul, în scopul remedierii cablului, se va efectua după realimentarea, prin manevre ($t_{manevre1}$, subcap.1.1) a posturilor din aval şi amonte de defect.

Durata identificării tronsonului, unui distribuitor, pe care s-a produs un defect (t_{loc} - 3.1) depinde de proprietatea de observabilitate a RED-MT din punct de vedere al sistemului său de conducere, respectiv de posibilităţile de a localiza tronsonul de către personalul de conducere operativă, din punctul de dispecer al RED-MT urbane.

Această durată, respectiv proprietatea de observabilitate, de care depinde principalul indicator al siguranţei în funcţionare al unei RED-MT urbane, continuitatea în alimentare, este determinată de:

- existenţa pe capetele dinspre sursă al fiecărui tronson sau în fiecare PT, a unor echipamente capabile să furnizeze informaţii cu privire la existenţa (identificarea) unui defect în amonte sau aval de locul lor de montare;
- posibilităţile de transmitere a acestor informaţii, la distanţa punctului de dispecer, în scopul localizării tronsonului cu defect.

In prezent există posibilitatea identificării tronsonului pe care s-a produs un scurtcircuit (nu şi punere la pământ) utilizând indicatori de scurtcircuit (clapeţi de semnalizare, fig.4.3) [17]. Lecturarea stării (observarea) acestor clapeţi, în marea majoritate a cazurilor, se face numai la faţa locului şi ca urmare durata localizării este de zeci de minute.

Dacă observarea stării clapeţilor este posibilă de la distanţă această durată se reduce la timpi de ordinul secundelor.

Evident, aşa cum s-a arătat t_{INT} (3.1) depinde şi de durata după care se pot efectua manevrele în scopul realimentării, dar aceasta depinde de proprietatea de controlabilitate a RED-MT urbane.

Scanned with OKEN Scanner

In cazul unor RED-MT extinse, distribuţia se asigură şi prin intermediul unor puncte de conexiuni intermediare, puncte de alimentare (PA). In acest caz, distribuitorii vor fi alimentaţi fie de pe barele colectoare ale ID-MT din staţia de transformare şi interconexiuni (STI, fig.4.1) fie de pe barele ID-MT ale unui punct de alimentare, fig.4.2. Punctele de alimentare (PA) sunt alimentate prin intermediul reţelei de alimentare de medie tensiune prin legături directe cu STI, sau un alt PA, fig.4.4.

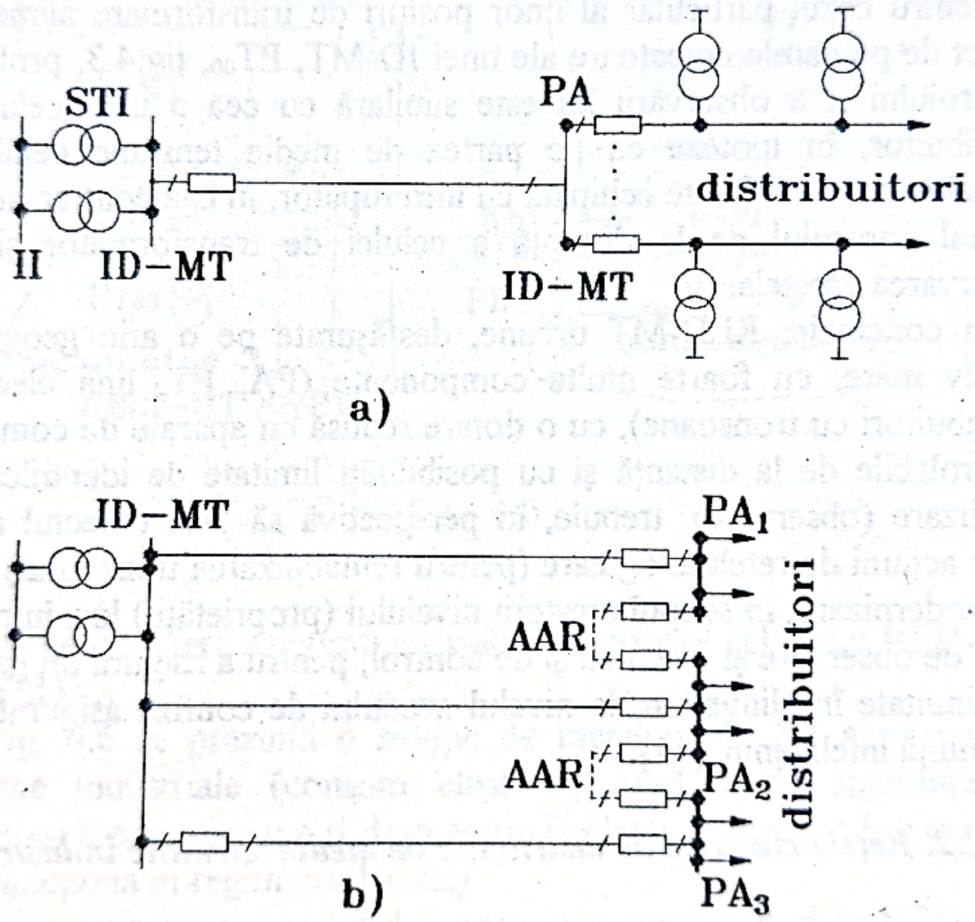


fig. 4.4

Ca urmare, în cazul RED-MT, care are şi reţea electrică de alimentare a PA, (cu două nivele de distribuţie) şi controlul şi observarea acesteia se va efectua pe două nivele. Unul la nivelul

Scanned with OKEN Scanner

distribuitorilor, similar celui analizat anterior şi altul la nivelul PA. Datorită nivelului ridicat de dotare cu aparate de comutaţie (îndeosebi întrerupătoare) şi nivelul activităţii de control şi observare al reţelei electrice de alimentare este mai ridicat, în comparaţie cu cel de la nivelul distribuitorilor.

In cazul unei RED-MT urbane cu două nivele de distribuţie se amplifică în mod corespunzător şi reţeaua de transmitere a informaţiei dintre punctul de dispecer (sistem coordonator) şi reţeaua electrică răspândită în perimetrul aglomerării urbane [17; 18; 28].

Pentru cazul particular al unor posturi de transformare alimentate direct de pe barele colectoare ale unei ID-MT, PT_{00}, fig.4.3, problema controlului şi a observării lui este similară cu cea a unei celule de distribuitor, în ipoteza că pe partea de medie tensiune celula de transformator a PT este echipată cu întrerupător, în caz contrar nu este posibil controlul de la distanţă a celulei de transformator şi nici observarea acesteia.

In concluzie, RED-MT urbane, desfăşurate pe o arie geografică relativ mare, cu foarte multe componente (PA, PT, linii electrice, distribuitori cu tronsoane), cu o dotare redusă cu aparate de comutaţie controlabile de la distanţă şi cu posibilităţi limitate de identificare şi localizare (observare), trebuie, în perspectivă să facă obiectul atât a unor acţiuni de retehnologizare (pentru rentabilizarea tranzitului) cât şi de modernizare, în scopul creşterii nivelului (proprietăţii) lor, în primul rând de observare şi eventual şi de control, pentru a asigura un grad de continuitate în alimentare la nivelul gradului de confort asigurat de o "locuinţă inteligentă"[13].

4.2.2.2. Reţele electrice de distribuţie de medie tensiune industriale.

Prin intermediul RED-MT industriale se distribuie energia electrică fie în perimetrul unui mare consumator, care poate avea şi receptori de medie tensiune, fie între STI şi punctul de delimitare (PD) cu fiecare consumator industrial al unei platforme industriale fig.4.5 [1; 43].

In comparaţie cu RED-MT urbane, RED-MT ale unei platforme industriale, îndeosebi din punct de vedere a activităţii de conducere şi

Scanned with OKEN Scanner

exploatare, se desfăşoară pe o arie geografică mai redusă; puterile tranzitate sunt mult mai mari, iar parametrii de calitate ai energiei

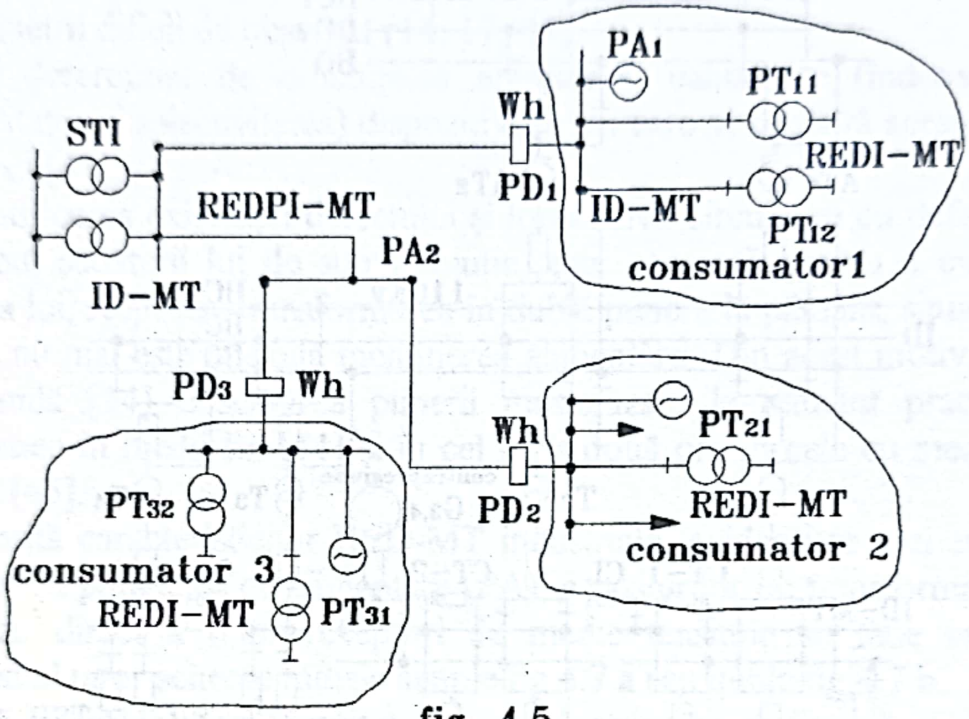


fig. 4.5

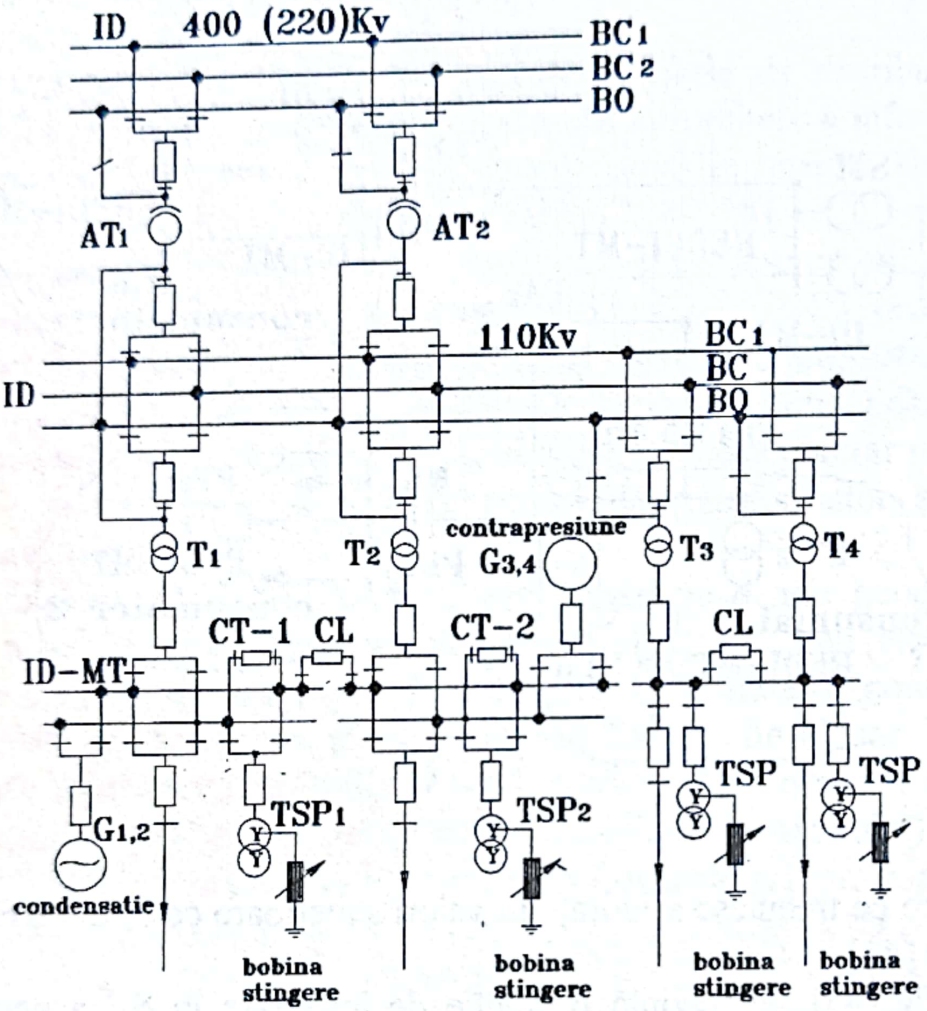
electrice ce trebuiesc asiguraţi au valori superioare celor din RED-MT. urbane [43].

In fig. 4.6 se prezintă o soluţie de încadrare în SE a unei mari platforme industriale (consum clasa A, grad 1 de siguranţă în funcţionare), care dispune şi de o centrală electrică proprie (pe care se poate funcţiona în regim insularizat).

In ceea ce priveşte modul de tratare a neutrului, deşi în RED-MT urbane se extinde legarea la pământ prin rezistenţă limitatoare (R_N), în RED-MT industriale, datorită valorii mari a curenţilor de scurtcircuit monofazat şi care asupra unui receptor (motor) de putere mare ar avea efecte negative grave (deteriorări ale crestăturilor statice, fără posibilitatea refacerii lor corespunzătoare de către consumator), această

Scanned with OKEN Scanner

tendință nu se manifestă [43]. Ca urmare RED-MT industriale funcționează cu neutrul izolat sau în cazul extinderii acesteia și a



clasa A , gradul 1 de siguranta

fig. 4.6

creșterii curentului capacitiv al rețelei peste valoarea de 10A se trece la funcționarea cu neutrul compensat.

Dacă funcționarea unei RED-MT cu neutrul izolat sau compensat, are efecte pozitive, îndeosebi datorită valorii mici a curentului de defect

Scanned with OKEN Scanner

monofazat, ceea ce face să nu fie afectată continuitatea alimentării, în ceea ce priveşte identificarea existenţei acestui tip de defect şi îndeosebi a localizării circuitului pe care s-a produs, dificultăţile sunt deosebite din următoarele motive:

- caracteristicile regimului de defect monofazat, respectiv valori mici şi parametrii dificil de observat [14; 17; 43].
- şi determinat de dificultatea anterioară, calitatăţile (îndeosebi sensibilitatea şi selectivitatea) dispozitivelor cu care se observă acest tip de defect [43].

Identificarea existenţei defectului şi localizarea circuitului cu defect, în scopul scoaterii lui de sub tensiune, este necesară pentru a evita evoluţia lui, respectiv transformarea în dublă punere la pământ, situaţie în care nu mai este posibilă menţinerea alimentării. Din acest motiv se recomandă [14] observarea punerii monofazate la pământ practic instantaneu în medii Ex [51] şi în cel mult două ore în cele cu mediu normal [45].

Datorită caracteristicilor RED-MT industriale, evidenţiate mai sus, alimentarea punctelor de alimentare (PA), a posturilor de transformare (PT) sau direct a unor receptori de medie tensiune se face prin intermediul unor scheme radiale simple fig.4.7.a sau duble fig.4.7.b. Datorită puterilor mari tranzitate, liniile electrice se realizează şi din mai multe cabluri fig.4.8 ceea ce creează dificultăţi în asigurarea parametrilor de calitate pentru dispozitivele de protecţie [43].

Datorită utilizării schemelor radiale, RED-MT industriale au un nivel ridicat de dotare cu aparate de comutaţie comandabile şi de la distanţă (întrerupătoare), practic pe ambele capete ale fiecărui circuit.

Lipsa tronsoanelor (specifice RED-MT urbane), elimină necesitatea localizării acestora, orice defect producându-se numai pe un circuit ce poate fi controlat şi observat, eventual şi de la distanţă, la ambele capete.

Dacă, controlul şi observarea sunt posibile la faţa locului, la ambele capete ale unui circuit, aceasta este posibilă şi de la distanţă numai dacă există un sistem coordonator (punct de dispecer) şi o cale de transmitere a acestor informaţii între punctul de dispecer şi fiecare PA sau PT [17; 18; 28].

Scanned with OKEN Scanner

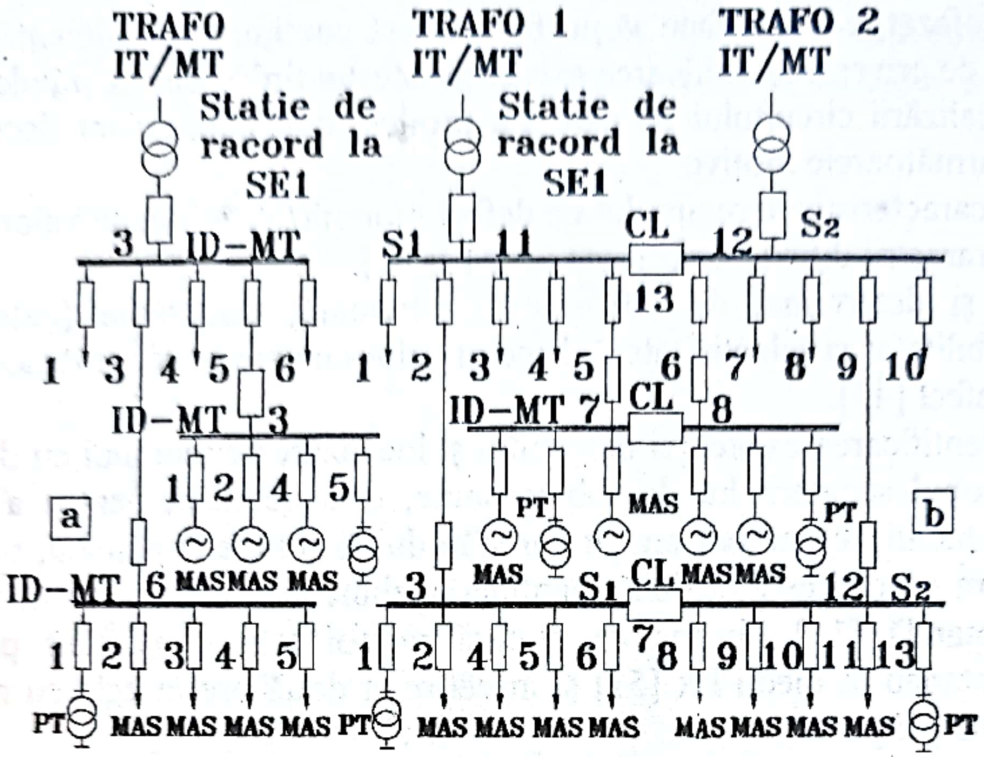


fig. 4.7

Datorită naturii consumatorilor, a consecințelor unei eventuale întreruperi în alimentare şi a distanțelor relativ mici între componentele RED-MT, de regulă, pe platformele industriale şi în unele întreprinderi există un sistem de conducere, respectiv un punct de dispecer cu posibilități corespunzătoare de legătură cu PA şi PT.

Dificultățile în conducerea şi exploatarea unei RED-MT industriale, sunt determinate, aşa cum s-a arătat, de funcționarea defectuoasă, în unele situații, a dispozitivelor de protecție la defect monofazat [14; 43].

Din cele prezentate rezultă că observabilitatea unei RED-MT, eventual în ansamblul său (de la punctul de dispecer) este determinată de posibilitățile de observare (identificare şi localizare) locală (aparat, celulă, tronson, distribuitor).

Ca urmare, în această lucrare se vor prezenta posibilitățile teoretice (metodele) şi practice (mijloacele), care se cunosc şi se aplică în

Scanned with OKEN Scanner

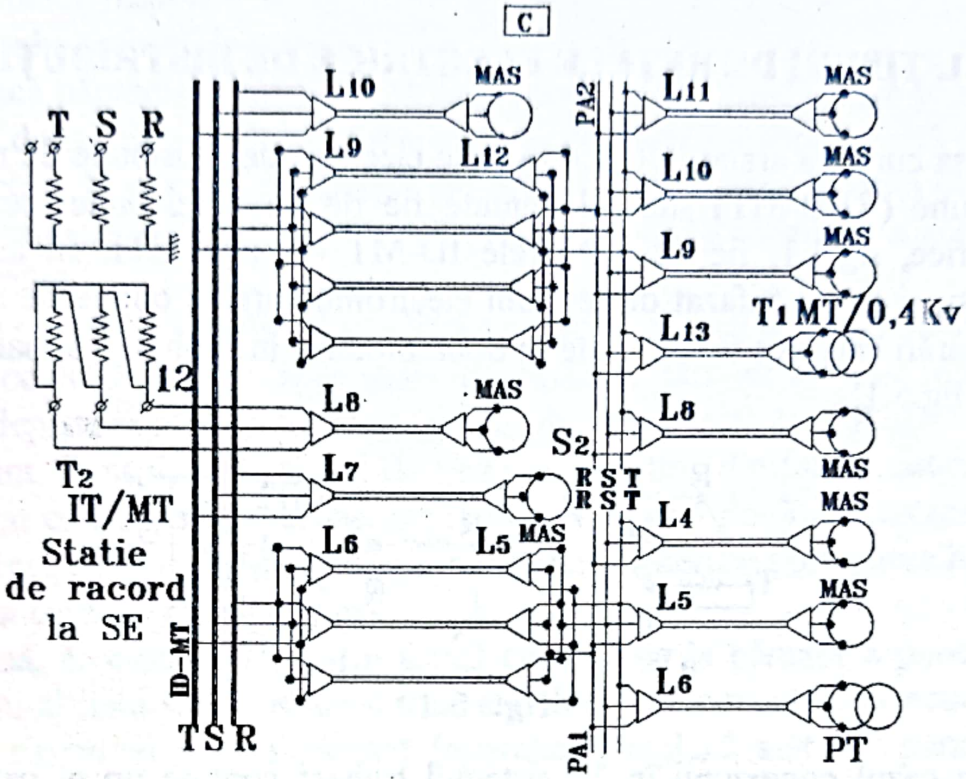


fig. 4.8

prezent, precum şi cele noi sau în curs de aplicare, care permit numai observarea (identificarea şi localizarea) locală a defectelor în RED-MT.

Mijloacelor tehnice de teletransmitere a informaţiilor la distanţă, care permit observarea de la distanţă a unui proces în general, a unei RED-MT în particular, nu vor fi prezentate în această lucrare.

Scanned with OKEN Scanner

CAP.5. REGIMURI DE FUNCŢIONARE ALE REŢELELOR ELECTRICE DE DISTRIBUŢIE DE MEDIE TENSIUNE

5.1. TIPURI DE REŢELE ELECTRICE DE DISTRIBUŢIE.

Aşa cum s-a arătat în cap.4 reţelele electrice de distribuţie de medie tensiune (RED-MT) sunt alimentate fie de pe barele unei centrale electrice, fig.4.1, fie de pe barele ID-MT ale unei STI. In ambele cazuri, sistemul trifazat de tensiuni electromotoare se obţine de la trei înfăşurări care pot fi conectate în două moduri: în triunghi (Δ) sau stea (Y), fig.5.1.

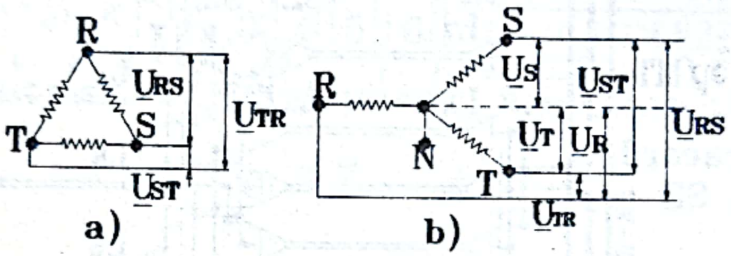


fig. 5.1

In cazul conexiunii în Y, sistemul trifazat conţine un al patrulea punct, neutrul (N), fig.5.1b. In raport cu acest punct al unui sistem trifazat de tensiuni se definesc tensiunile de fază: $\underline{U}_R$, $\underline{U}_S$, $\underline{U}_T$.

Punctul neutru al unei RED-MT poate fi creat în una din variantele prezentate în fig.3.1 şi anume:

- prin neutrul unuia din generatoare (G_4, ID-MT-1), care are înfăşurările conectate în stea cu neutrul accesibil;
- cu ajutorul unui transformator special de creare a neutrului artificial (TNA-ID-MT-2). In acest caz, înfăşurările tuturor elementelor RED-MT sunt conectate în triunghi;
- prin neutrul transformatorului de forţă din staţia coborâtoare (T_5-ID-MT-3), care alimentează RED-MT.

Comportarea unei RED atât în regim normal cât şi în regim de defect este determinată în mare măsură de interdependenţa dintre sistemul trifazat de tensiuni al RED-MT şi pământ. In principiu, în

Scanned with OKEN Scanner

urma unei conectări (atingeri) a pământului la un punct de un anumit potențial al sistemului electric trifazat de tensiuni, acesta devine un element al RED-MT cu potențialul punctului în care s-a atins. Potențialul respectiv se definește în raport cu punctul neutru (N) al sistemului trifazat de tensiuni al sursei de alimentare.

Dacă pământul este conectat la un punct al RED-MT și se produce și o a doua atingere, într-un punct de alt potențial, atunci această dublă conectare la pământ reprezintă un defect a cărui caracteristici depind de parametrii electrici ai RED-MT și ai modului de conectare a acesteia la pământ.

Pe seama caracteristicilor, atât a regimului normal de funcționare cât și a celor de defect specialiștii din diferite țări au adoptat diferite interdependențe între sistemul trifazat de tensiuni al unei RED-MT și pământ. Sunt situații (destul de rare) în care una din fazele sistemului trifazat este conectată la pământ (sistemul 2C-P - două conductoare și pământ), soluție ce conduce la economii de materiale (echiparea rețelei numai cu două căi de curent).

Insă, în mod curent, se practică conectarea la pământ a punctului neutru al unui sistem electric trifazat. Modul de conectare al neutrului unui sistem trifazat la pământ (operație complexă atât din punct de vedere a soluției tehnice de realizare cât și din punct de vedere a comportării RED-MT) a căpătat denumirea de mod de tratare a neutrului. Soluțiile cunoscute de tratare a neutrului sunt:

- izolat față de pământ ($Z_N = \infty$).
- legat la pământ printr-o impedanță ($Z_N = R_N + jX_N$). In funcție de natura impedanței Z_N se întâlnesc următoarele cazuri particulare:
- $Z_N = jX_N = j\omega L$ - când rețeaua funționează cu neutrul compensat;
- $Z_N = R_N$ - când rețeaua funcționează cu neutrul legat la pământ prin rezistență limitatoare.

Determinarea mărimilor electrice ce caracterizează un anumit regim de funcționare al unei rețele trifazate se poate face folosind modele fizice la scară sau modele matematice (calcul analitic). In cadrul acestei lucrări pentru calculul mărimilor ce caracterizează un regim de funcționare (normal sau de defect) se vor folosi modele matematice. Folosirea modelului matematic se bazează pe schema (schemele)

Scanned with OKEN Scanner

echivalentă a rețelei în care, fiecare element al acesteia (linie, transformator, etc.) se înlocuieşte cu un model (cuadripol) echivalent (în T,Π sau Γ [2; 38]) ce conține parametrii electrici echivalenți (R, X) ai fiecărui element.

Aşa cum este cunoscut [2, 10;17] în cazul unui sistem trifazat nesimetric sinusoidal, pentru a-l putea studia cu instrumentul matematic specific unui sistem trifazat simetric, acesta se poate modela prin trei sisteme trifazate direct, invers şi homopolar, care prin suprapunere definesc sistemul trifazat nesimetric real.

Deci o rețea electrică trifazată nesimetrică (încărcată nesimetric, sau ca urmare a unui defect nesimetric) se modelează prin trei scheme electrice echivalente, fig.5.2, de secvență directă, inversă şi homopolară. Dintre acestea numai schema de secvență directă conține sursele de t.e.m. care prin natura lor sunt simetrice.

Schema de secvență directă (d) fig.5.2a, este întotdeauna identică cu schema echivalentă reală (atât ca structură cât şi a valorii parametrilor R şi X); schema de secvență inversă (i) fig.5,2b este, în general, identică cu cea directă, numărul elementelor componente este întotdeauna acelaşi, diferențele apar pentru maşinile electrice rotative (generatoare, motoare); schema de secvență homopolară (o), fig.5.2c, este fundamental diferită de celelalte, impedanțele echivalente ale elementelor rețelei determinându-se prin calcul cu relații bine determinate [2, 10, 14] sau experimental.

Modul de conectare, între ele, a celor trei scheme (directă, inversă, homopolară) se face diferit, în funcție de tipul de nesimetrie.

Pe seama celor de mai sus, pentru un regim nesimetric oarecare, ecuațiile de bază ale legii a II-a a lui Kirchhoff, pentru fiecare schemă echivalentă vor avea forma:

$$\begin{aligned} \underline{U}_d &= \underline{E} - Z_d\underline{I}_d \\ \underline{U}_i &= 0 - Z_i\underline{I}_i \\ \underline{U}_0 &= 0 - Z_0\underline{I}_0 \end{aligned} \qquad (5.1)$$

Scanned with OKEN Scanner

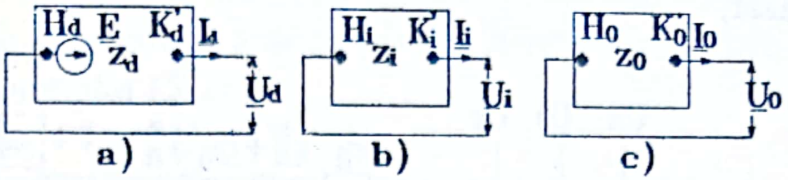


fig. 5.2

In continuare, în cadrul acestui capitol se vor determina analitic valorile mărimilor electrice (tensiuni, curenți) din sistemul electric trifazat al unei RED-MT atât în regim normal cât şi de defect. Scopul acestor determinări constă în a evidenția, pe de o parte, solicitările la care sunt supuse elementele RED-MT în regim normal în funcție de imperfecțiunile acestuia şi de modul de tratare a neutrului, iar pe de altă parte, pentru a putea identifica existența unui anumit regim de defect şi al localiza în mod selectiv.

5.2 REGIMUL NORMAL DE FUNCȚIONARE.

In fig.5.3 se prezintă schema simplificată a unei RED-MT de la care este alimentată o sarcină Z_S, şi în care:

- $\underline{U}_R$, $\underline{U}_S$, $\underline{U}_T$ - sunt tensiunile de fază ale sursei de alimentare, care sunt simetrice;
- $\underline{U}_{RS}$, $\underline{U}_{ST}$, $\underline{U}_{TR}$ - sunt tensiunile de linie, compuse;
- $\underline{U}_{PR}$, $\underline{U}_{PS}$, $\underline{U}_{PT}$ - tensiunile față de pământ ale conductoarelor de fază;
- $I^S_{R,S,T}$ - curenții care circulă prin conductoarele de fază, determinați de impedanțele sarcinii (Z_S) alimentate de la RED-MT;
- $\underline{I}_{R0}$, $\underline{I}_{S0}$, $\underline{I}_{T0}$ - curenții de încărcare ai RED-MT, determinați de admitanțele (Y_{0f}) față de pământ ale conductoarelor de fază ale rețelei;
- $\underline{I}_N = \underline{I}_{R0} + \underline{I}_{S0} + \underline{I}_{T0}$ - curentul de nesimetrie al rețelei care se închide prin pământ şi neutrul rețelei.
- $Z^L_{R,S,T}$ - impedanțele conductoarelor de fază ale rețelei;
- $Z^T_{R,S,T}$ - impedanțele înfăşurărilor transformatorului;

Scanned with OKEN Scanner

- Z_N - impedanţă prin care este legat la pământ neutrul sistemului electric trifazat;

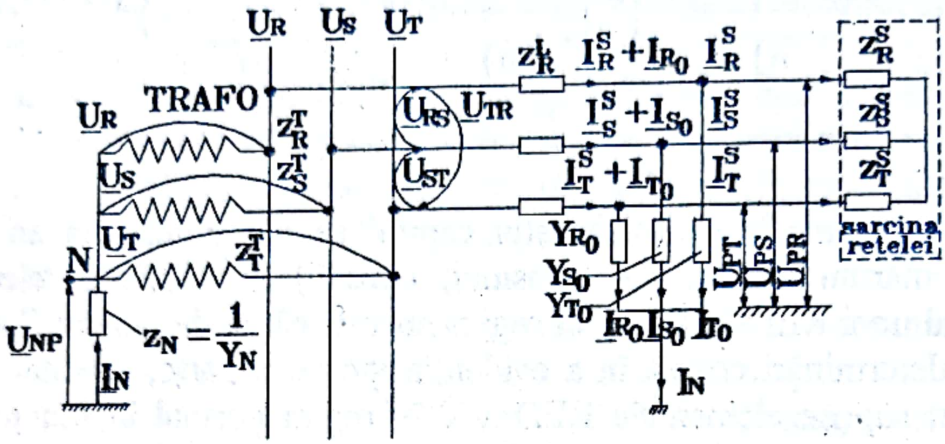


fig. 5.3

- Y_{R0}, Y_{S0}, Y_{T0} - admitanţele faţă de pământ ale conductoarelor de fază ($Y_{0f} = g_{0f} + j\omega C_{0f}$) ale întregii reţele.

Admiţând că sarcina este echilibrată ($Z_R^S \equiv Z_S^S = Z_T^S$; $\underline{I}_R^S + \underline{I}_S^S + \underline{I}_T^S = 0$), în continuare se vor evidenţia valorile unor mărimi electrice determinate numai de parametrii electrici ai RED-MT.

Independent de existenţa sau nu a sarcinii, prin conductoarele reţelei circulă curenţii determinaţi de admitanţa faţă de pământ a conductoarelor şi de tensiunea faţă de pământ a acestora. Evident, admitanţele Y_0 sunt un parametru uniform distribuit în lungul conductoarelor, în fig.5.3 s-au considerat valorile totale ale acestora ($Y_{0f} = Y_0^* \cdot L$, unde: $Y_0^* = S/Km$, iar L(Km) este lungimea reţelei).

Pentru regimul normal este necesar să se cunoască valoarea curentului I_N, şi a tensiunii dintre punctul neutru şi pământ ($\underline{U}_{NP}$), denumită şi tensiune de deplasare a neutrului ($\underline{U}_{dN} = \underline{U}_{NP}$; fig.5.3).

Dacă admitanţele Y_{R0}, Y_{S0} ,Y_{T0} ar fi identice, atunci $\underline{I}_N = 0$ şi $\underline{U}_{dN} = Z_N \cdot \underline{I}_N = 0$, însă, de regulă, aceste admitanţe nu sunt egale şi ca urmare, U_{dN} şi $\underline{I}_N$ au valori diferite de zero în funcţie şi de modul de tratare a neutrului (Z_N).

Pe seama notaţiilor din fig.5.3 rezultă:

Scanned with OKEN Scanner

$$\underline{I}_{R0} = \underline{U}_{PR} \cdot Y_{R0} \; ; \; \underline{I}_{S0} = \underline{U}_{PS} \cdot Y_{S0} \; ; \; \underline{I}_{T0} = \underline{U}_{PT} \cdot Y_{T0} \; ; \; \underline{I}_N = \underline{U}_{NP} \cdot Y_N \qquad (5.2)$$

Curentul $\underline{I}_N$, care circulă prin admitanța $Y_N = 1/Z_N$, rezultă din suma vectorială a curenților (5.2):

$$\underline{I}_N = \underline{I}_{R0} + \underline{I}_{S0} + \underline{I}_{T0} = \underline{U}_{NP} \cdot Y_N \qquad (5.3)$$

Ținând cont că (fig.5.3):

$$\begin{aligned} \underline{U}_R &= \underline{U}_{PR} + \underline{U}_{NP} & \underline{U}_{PR} &= \underline{U}_R - \underline{U}_{NP} \\ \underline{U}_S &= \underline{U}_{PS} + \underline{U}_{NP} & \underline{U}_{PS} &= \underline{U}_S - \underline{U}_{NP} \\ \underline{U}_T &= \underline{U}_{PT} + \underline{U}_{NP} & \underline{U}_{PT} &= \underline{U}_T - \underline{U}_{NP} \end{aligned} \qquad (5.4)$$

din (5.3) rezultă:

$$\underline{I}_N = \underline{U}_R \cdot Y_{R0} + \underline{U}_S \cdot Y_{S0} + \underline{U}_T \cdot Y_{T0} - \underline{U}_{NP}(Y_{R0} + Y_{S0} + Y_{T0}) = \underline{U}_{NP} \cdot Y_N \qquad (5.5)$$

respectiv:

$$\underline{U}_{NP} = \frac{\underline{U}_R \cdot Y_{R0} + \underline{U}_S \cdot Y_{S0} + \underline{U}_T \cdot Y_{T0}}{Y_{R0} + Y_{S0} + Y_{T0} + Y_N} \qquad (5.6)$$

și notând $Y_{R0} + Y_{S0} + Y_{T0} = 3Y_{0f} = Y_{\Sigma 0} = g_{\Sigma 0} + j\omega C_{\Sigma 0}$, din (5.3) și (5.6) rezultă:

$$\underline{I}_{NP} = \underline{U}_{NP} \cdot Y_N = \frac{\underline{U}_R \cdot Y_{R0} + \underline{U}_S \cdot Y_{S0} + \underline{U}_T \cdot Y_{T0}}{1 + Y_{\Sigma 0} / Y_N} = \underline{U}_{dN} \cdot Y_N \qquad (5.7)$$

Explicitând admitanța $Y_{R0} = g_{R0} + j\omega C_{R0}$ și ținând cont că tensiunile de fază sunt simetrice (alegând ca referință tensiunea de fază $\underline{U}_R$),

$$\underline{U}_S = a^2 \underline{U}_R \; ; \; \underline{U}_T = a\underline{U}_R$$

rezultă că:

$$\underline{U}_{d_N} = \underline{U}_R \cdot j\omega \frac{C_{R0} + a^2 C_{S0} + a C_{T0}}{g_{\Sigma 0} + j\omega C_{\Sigma 0} + Y_N} \qquad (5.8)$$

Scanned with OKEN Scanner

Inlocuind admitanţa $Y_N = \frac{1}{R_N} + \frac{1}{j\omega L_N}$, fig.5.4

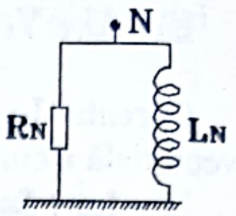


fig. 5.4

şi definind parametrii:

- $K = \frac{I_L}{I_C} = \frac{1}{\omega^2 L_N \cdot C_{\Sigma 0}}$, gradul de acord al impedanţei L_N;

- $v = 1 - K$, gradul de dezacord; (5.9)

$d_N = \frac{g_{\Sigma 0} + g_N}{\omega C_{\Sigma 0}}$, coeficientul de amortizare al reţelei

se obţine după câteva transformări:

$$\underline{U}_{d_N} = \underline{U}_f \frac{\mu_o}{v - jd_N} \qquad (5.10)$$

unde: $\mu_o = \frac{C_{R0} + a^2 C_{S0} + aC_{T0}}{C_{\Sigma 0}}$ reprezintă gradul de nesimetrie al reţelei determinat de diferenţa capacităţilor faţă de pământ ale fazelor acesteia. Pentru liniile electrice aeriene (LEA), gradul de nesimetrie este de (1 ÷ 5)% în cazul LEA simplu circuit şi de până la 20% în cazul liniilor cu dublu circuit. Pentru reţelele în cablu gradul de nesimetrie este mai mic (0,5%) fiind considerat practic nul [14]. In concluzie, tensiunea de deplasare a neutrului $\underline{U}_d$ este un fazor a cărui modul depinde de gradul de: nesimetrie a reţelei, dezacord al impedanţei de tratare a neutrului şi coeficientul de amortizare (d_N), iar direcţia acestuia este determinată, în principal, de tensiunea de fază aleasă ca referinţă [17].

Deoarece tensiunea de deplasare a neutrului $\underline{U}_{dN}$ (5.8) şi curentul de nesimetrie măsurat, pe conductorul de nul $\underline{I}_N$ (5.7) sau pe fiecare circuit trifazat, cu un filtru de curent de secvenţă homopolară (acestea

Scanned with OKEN Scanner

fiind componente ale curentului $\underline{I}_N$), depind de valoarea impedanței de tratare a neutrului, în continuare se vor determina expresiile lor analitice pentru fiecare soluție de tratare a neutrului.

5.2.1. Rețele cu neutrul izolat.

In acest caz, admitanța $Y_N = \frac{1}{Z_N} = \frac{1}{\infty} = 0$ și ca urmare $\underline{I}_N = 0$, indiferent de gradul de nesimetrie al rețelei.

In RED-MT cu neutrul izolat și admitațele diferite ale fazelor față de pământ punctul neutru are un potențial diferit de cel al pământului astfel încât din (5.5) să rezulte:

$$\underline{I}_N = \underline{I}_{R0} + \underline{I}_{S0} + \underline{I}_{T0} = 0$$

Această condiție se menține și pentru curenții de sarcină:

$\underline{I}_R^S + \underline{I}_S^S + \underline{I}_T^S \equiv 0$, indiferent cât de diferiți sunt curenții de sarcină pe cele trei faze.

Deci în RED-MT cu neutrul izolat în regim normal, pe circuitele trifazate ale acesteia nu se pot măsura cu filtre de curent de secvență homopolară (FCSH) curenți de nesimetrie (de secvență homopolară).

Tensiunea ce se poate măsura, în acest caz, între punctul neutru al rețelei și pământ $\underline{U}_{dN0}$ este (5.6; 5.8):

$$\underline{U}_{dN0} = \underline{U}_f \cdot j\omega \frac{C_{R0} + a^2 C_{S0} + a C_{T0}}{g_{\Sigma 0} + j\omega C_{\Sigma 0}} \qquad (5.11)$$

sau din (5.10):

$$\underline{U}_{dN0} = \underline{U}_f \cdot \frac{\mu_0}{1 - jd_0} \qquad (5.12)$$

unde:

$$d_0 = d_{N0} = \frac{g_{\Sigma 0}}{\omega C_{\Sigma 0}}.$$

In RED-MT cu linii electrice aeriene, la o valoare a lui $\mu_0 = 0{,}035$ și $U_f = 35$ Kv se ajunge la $U_{dN0} = 707\,V$ [14].

Scanned with OKEN Scanner

Tensiuni mari de deplasare a neutrului se obţin însă în cazul conectării sau deconectării unei singure faze; într-un asemenea caz $\mu = 0,5$, iar $U_{d_{N0}} = 0,5U_f$, la o deconectare monofazată ($C_{R0} \approx 0$; $C_{S0} \cong C_{T0}$), respectiv $\mu_0 = 1,0$,iar $U_{d_{N0}} = U_f$ la o conectare monofazată ($C_{R0} \neq 0$; $C_{S0} \cong 0$).

5.2.2. Reţele cu neutrul compensat.

Conectarea unei bobine L_N între pământ şi neutrul reţelei determină creştera tensiunii acestuia faţă de pământ, ca urmare a apariţiei unui circuit oscilant (L,C) a cărui tensiune de alimentare este tensiunea de nesimetrie, $\underline{U}_{d_{NL}} = \underline{U}_0$, de deplasare a neutrului.

In fig.5.5 se prezintă schema electrică echivalentă a circuitului L,C, în care $\underline{U}_0$ este tensiunea de secvenţă homopolară iar $\underline{U}_{d_{NL}}$ tensiunea de deplasare a neutrului în cazul RED-MT cu neutrul compensat.

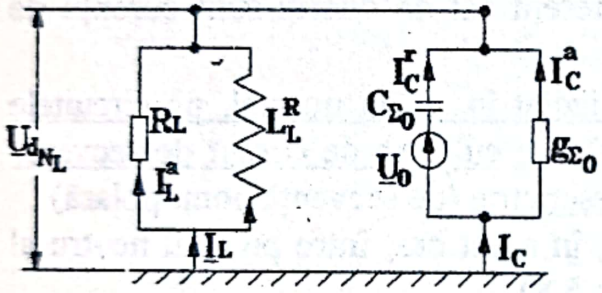


fig. 5.5

Valoarea tensiunii $\underline{U}_{d_{NL}}$ se obţine din relaţia (5.10), al cărui modul rezultă:

$$U_{d_{NL}} = U_f \frac{\mu_0}{\sqrt{\nu^2 + d_L^2}} \qquad (5.13)$$

unde d_L este coeficientul de amortizare al reţelei cu neutrul tratat cu bobină de stingere:

$$d_L = \frac{g_{\Sigma 0} + g_L}{\omega C_{\Sigma 0}} \quad , \quad g_L = \frac{1}{R_L} \qquad (5.14)$$

Neglijând componentele active ale curenţilor, din fig.5.5, rezultă:

Scanned with OKEN Scanner

$$K = \frac{U_f / \omega L_N}{U_f \cdot \omega C_{\Sigma 0}} = \frac{I_L}{I_C} \qquad (5.15)$$

$$\nu = 1 - K = \frac{I_C - I_L}{I_C} \qquad (5.16)$$

unde I_L este curentul prin bobina de stingere, iar I_C este curentul de încărcare capacitivă al întregii rețele.

In regim normal de funcționare, dacă se modifică valoarea inductanței L_N a bobinei se modifică și valoarea tensiunii $\underline{U}_{d_{NL}}$ de deplasare a neutrului.

Se pot defini următoarele situații:

a) $\frac{1}{\omega L_N} < \omega C_{\Sigma 0}$; $I_L < I_C$; $K < 1$; $\nu > 0$, rețeaua este într-un regim subcompensat; în cazul particular $\nu = 1$; ($I_L = 0$) - rețeaua este cu neutrul izolat;

b) $\frac{1}{\omega L} = \omega C_{\Sigma 0}$; $I_L = I_C$; $K = 1$; $\nu = 0$ - acord la rezonanță al bobinei;

c) $\frac{1}{\omega L} > \omega C_{\Sigma 0}$; $I_L > I_C$; $K > 1$; $\nu < 0$ - rețeaua este în regim supracompensat; pentru $\nu << 0$, rețeaua devine cu neutrul legat direct la pământ.

In fig.5.6 se prezintă variația tensiunii $U_{d_{NL}}$ în funcție de parametrii d_L, ν și $n = \Delta C/C_0$, unde ΔC este abaterea capacității unei faze (C_{R0}) față de cele ale celorlalte faze, considerate egale ($C_0 = C_{S0} = C_{T0}$).

Din această variație se observă ce efect deosebit are modificarea gradului de dezacord ν (deci valoarea inductanței bobinei, în raport cu capacitatea rețelei) asupra tensiunii de deplasare a neutrului, care înregistrează valori maxime în regim supracompensat, acesta fiind unul

Scanned with OKEN Scanner

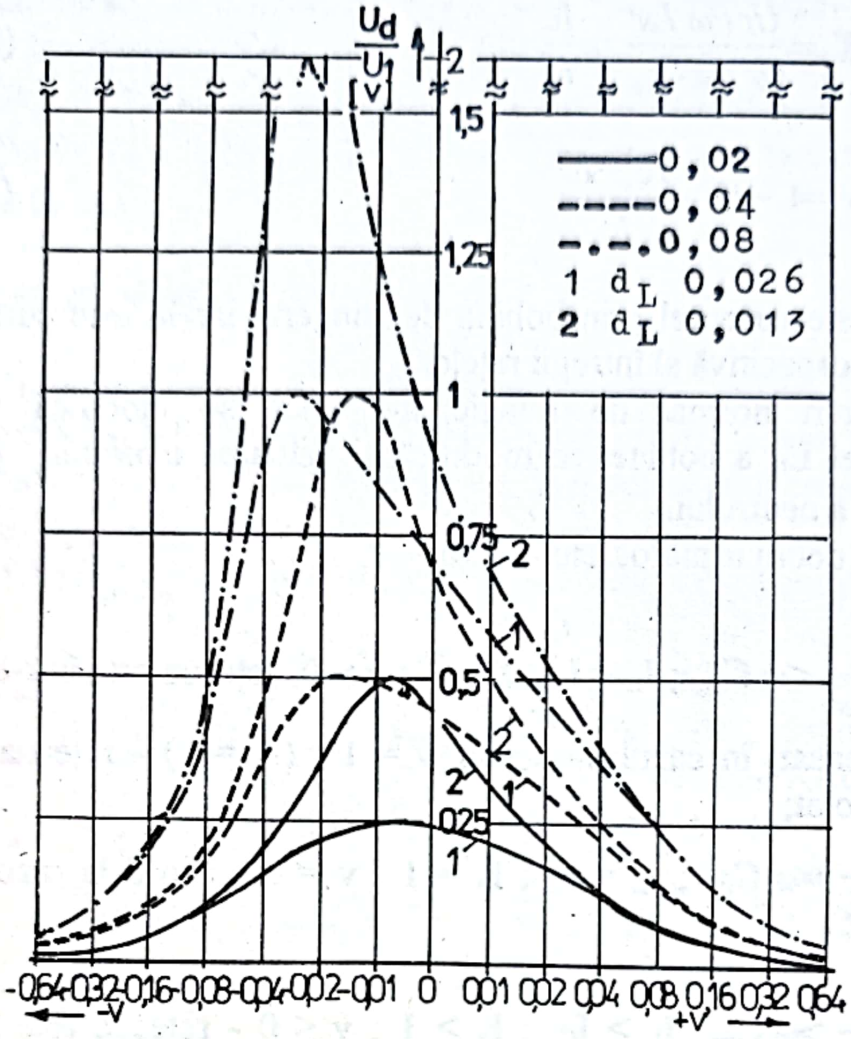


fig. 5.6

din motivele ce determină evitarea funcționării în regim normal, cu bobina supracompensată.

5.2.3. Rețele cu neutrul legat la pământ prin rezistență limitatoare.

In acest caz $Y_N = 1/R_N$ şi

$$\underline{U}_{d_{NR}} = \underline{U}_f \frac{j\omega (C_{R0} + a^2 C_{S0} + a C_{T0})}{g_{\Sigma 0} + j\omega C_{\Sigma 0} + 1/R_N} \qquad (5.17)$$

După unele transformări se obține modulul lui $\underline{U}_{dNR}$

$$U_{d_{NR}} = U_f \cdot \mu_0 \frac{1}{1 - j(d_0 + \frac{1}{\omega C_{\Sigma 0} R_N})} = U_f \frac{\mu_0}{1 - j d_{NR}} \quad (5.18)$$

unde d_{NR} este mult mai mare decât d_0 şi d_L , respectiv dacă d_0 are valori de ordinul 0,03 [14], iar d_L este de ordinul 0,05, d_{RN} poate avea valori de până la 100 şi ca urmare, în reţelele cu neutrul legat la pământ prin R_N tensiunea de deplasare a neutrului este mult mai mică, la limită, pentru $R_N \approx 0$, rezultă $U_{d_{NR}} \cong 0$.

5.3. REGIMUL DE DEFECT.

Regimul de defect, în această lucrare, reprezintă acel regim în care mărimile electrice dintr-un circuit au valori ce depăşesc limitele corespunzătoare regimului normal sau depăşesc limitele stabilităţii termice în regim de lungă durată, sau al stabilităţii electrodinamice.

Regimul de defect afectează elementele componenete ale reţelei, eliminarea lui impunându-se din considerente de protejare a elementelor acestuia.

Aşa cum s-a precizat anterior mărimile electrice care determină în mod direct efectele asupra elementelor unei reţele electrice sunt: tensiunea şi curentul.

Modificarea valorii tensiunii într-un punct (A) al unui circuit, fig.5.7 este determinată de valoarea curentului; considerând reţeaua cu o structură fixă (Z), conform relaţiilor:

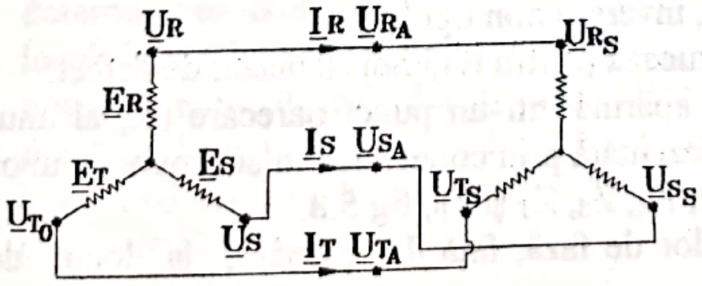


fig. 5.7

$$\begin{aligned} \underline{U}_{RA} &= \underline{U}_R - Z\underline{I}_R \\ \underline{U}_{SA} &= \underline{U}_S - Z\underline{I}_S \\ \underline{U}_{TA} &= \underline{U}_T - Z\underline{I}_T \end{aligned} \quad (5.19)$$

Scanned with OKEN Scanner

In regim normal, pe seama cerințelor de calitate [1; 19] tensiunile pot varia între anumite limite. In regim de defect, când curenții de circulație au valori mult mai mari decât cele de regim normal, tensiunea într-un punct al rețelei depinde de tipul defectului, locul în care se produce defectul în raport atât cu sursa cât şi cu punctul în care se controlează tensiunea.

In analiza unui regim de defect se face ipoteza [2; 10; 38; 42] că sursa este de putere infinită şi ca urmare tensiunile la borne rămân neschimbate atât în regim normal cât şi de defect şi egale cu tensiunile electromotoare ($\underline{E} = \underline{U}_{borne}$).

Ca urmare, modificarea valorii curentului dintr-un circuit este determinată doar de modificarea impedanței pe care se aplică tensiunea sursei de alimentare, conform legii lui Ohm:

$$\underline{I} = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}} \qquad (5.20)$$

Intr-un sistem electric trifazat existența celor trei faze, a neutrului şi a pământului face posibilă producerea mai multor tipuri de defecte [2; 10; 42], fiecăruia dintre ele fiindu-i caracteristică o anumită tensiune care se aplică unui anumit circuit şi ca urmare, se va stabili un anumit curent. In acest fel, aşa cum se va vedea, prin analiza curentului de defect este posibil să se identifice tipul de defect şi, în unele cazuri, şi locul în care s-a produs.

In continuare, se vor analiza valorile curentului şi ale tensiunii pentru fiecare tip de defect în parte.

Deoarece regimurile de defect sunt, de regulă, regimuri nesimetrice, pentru analiza lor se va utiliza descompunerea în cele trei sisteme menționate anterior: direct, invers şi homopolar.

Evident, analiza se efectuează pentru regimul stabilizat de defect.

Nesimetria transversală apărută într-un punct oarecare (K) al unui sistem trifazat poate fi reprezentată prin conectarea în acel punct a unor impedanțe pe faze, neegale, Z_R, Z_S, Z_T şi Z_P, fig.5.8.

Tensiunile conductoarelor de fază, față de pământ, la locul de defect (K') au expresiile:

Scanned with OKEN Scanner

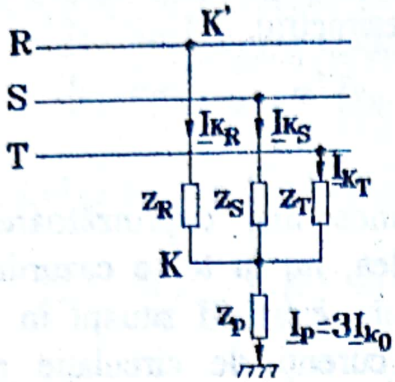


fig. 5.8

$$\begin{aligned}\underline{U}_{K'_R} &= Z_R \cdot \underline{I}_{K_R} + 3Z_p \cdot \underline{I}_{K_0}\\ \underline{U}_{K'_S} &= Z_S \cdot \underline{I}_{K_S} + 3Z_p \cdot \underline{I}_{K_0}\\ \underline{U}_{K'_T} &= Z_T \cdot \underline{I}_{K_T} + 3Z_p \cdot \underline{I}_{K_0}\end{aligned} \qquad (5.21)$$

Inlocuind valorile reale cu cele ale componenetelor simetrice se obţine:

$$\underline{U}_{K'_{Rd}} = \frac{1}{3}\left[Z_R(\underline{I}_{K_{Rd}} + \underline{I}_{K_{Ri}} + \underline{I}_{K_0}) + aZ_S(a^2\underline{I}_{K_{Rd}} + a\underline{I}_{K_{Ri}} + \underline{I}_{K_0}) + a^2 Z_T(a\underline{I}_{K_{Rd}} + a^2\underline{I}_{K_{Ri}} + \underline{I}_{K_0})\right]$$

$$\underline{U}_{K_{Ri}} = \frac{1}{3}\left[Z_R(\underline{I}_{K_{Rd}} + \underline{I}_{K_{Ri}} + \underline{I}_{K_0}) + a^2 Z_S(a^2\underline{I}_{K_{Rd}} + a\underline{I}_{K_{Ri}} + \underline{I}_{K_0}) + aZ_T(a\underline{I}_{K_{Rd}} + a^2\underline{I}_{K_{Ri}} + \underline{I}_{K_0})\right] \qquad (5.22)$$

$$\underline{U}_{K_{R0}} = \frac{1}{3}\left[Z_R(\underline{I}_{K_{Rd}} + \underline{I}_{K_{Ri}} + \underline{I}_{K_0}) + Z_S(a^2\underline{I}_{K_{Rd}} + a\underline{I}_{K_{Ri}} + \underline{I}_{K_0}) + Z_T(a\underline{I}_{K_{Rd}} + a^2\underline{I}_{K_{Ri}} + \underline{I}_{K_0})\right]$$

Aceste ecuaţii împreună cu ecuaţiile fundamentale (5.1) permit determinarea componentelor simetrice ale tensiunilor şi curenţilor la locul defectului (nesimetriei), după care, cunoscându-le pe acestea, se pot determina valorile lor pe fază. Rezolvarea sub formă generală conduce la expresii complicate. Expresii mai simple se pot obţine impunând condiţii limită ce caracterizează fiecare tip de nesimetrie transversală [2; 42].

Scanned with OKEN Scanner

Presupunând, în fig.5.8, o parte din impedanţe egale cu zero sau infinit se poate obţine orice tip de defect nesimetric.

5.3.1. Defectul monofazat.

In această lucrare s-a folosit noţiunea mai cuprinzătoare de DEFECT, deoarece, aşa cum se va vedea, nu în toate cazurile un defect are caracteristicile unui scurtcircuit, existând situaţii în care defectul este însoţit de apariţia unor curenţi de circulaţie mici, comparabili cu cei de sarcină.

Defectul monofazat, presupune afectarea numai a unei singure faze a unui sistem trifazat, respectiv contactul acesteia cu pământul (Z_R=0) sau cu neutrul sistemului electric, ca urmare a unei atingeri directe (fază căzută la pământ) sau a unui defect de izolaţie (Z_S=Z_T=∞, fig.5.8).

In general, primul defect al izolaţiei faţă de pământ, într-o RED-MT, fără asimetrii (n) pronunţate ale capacităţilor fazelor, apare independent de modul de tratare a neutrului. Diferenţierea semnificativă a RED-MT, datorită modului de tratare, apare numai cu privire la evoluţia fenomenelor consecutiv apariţiei primului defect.

In cazul punerii la pământ a unei faze prin rezistenţa R_D, de exemplu a fazei R, fig.5.9, în condiţiile limită:

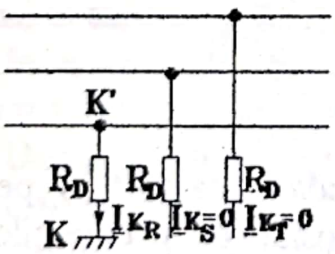


fig. 5.9

$$\underline{I}_{K_S} = \underline{I}_{K_T} = 0 \qquad (5.23)$$

în punctul K:

$$\underline{U}_{K_R} = 0$$

iar în K':

$$\underline{U}_{K'_R} = R_D \cdot \underline{I}_{K_R}$$

Din relaţiile de definire a componentelor de curent:

Scanned with OKEN Scanner

$$\begin{aligned}
\underline{I}_{K_R} &= \underline{I}_{K_{Rd}} + \underline{I}_{K_{Ri}} + \underline{I}_{K_0} \\
\underline{I}_{K_S} &= a^2 \underline{I}_{K_{Rd}} + a\underline{I}_{K_{Ri}} + \underline{I}_{K_0} \\
\underline{I}_{K_T} &= a\underline{I}_{K_{Rd}} + a^2 \underline{I}_{K_{Ri}} + \underline{I}_{K_0}
\end{aligned} \qquad (5.24)$$

impunând condiţiile (5.23) rezultă:

$$\underline{I}_{K_{Rd}} = \underline{I}_{K_{Ri}} = \underline{I}_{K_0} = 1/3 \cdot \underline{I}_{K_R} \qquad (5.25)$$

iar pentru:

$$\underline{U}_{K_R} = \underline{U}_{K_{Rd}} + \underline{U}_{K_{Ri}} + \underline{U}_{K_0} = 0 \qquad (5.26)$$

Pe seama relaţiilor (5.1) şi ţinând cont de relaţiile (5.25) şi (5.26) rezultă:

$$\underline{E}_R - \underline{I}_{K_{Rd}}(Z_d + Z_i + Z_0 + 3R_D) = 0 \qquad (5.27)$$

de unde:

$$\underline{I}_{K_{Rd}} = \frac{\underline{E}_R}{Z_d + Z_i + Z_0 + 3R_D} \qquad (5.28)$$

Deci curentul pe faza cu defect, la locul de defect, este:

$$\underline{I}_{K_R} = 3\underline{I}_{K_{Rd}} = \frac{3\underline{E}_R}{Z_d + Z_i + Z_0 + 3R_D} \qquad (5.29)$$

Componenetele simetrice ale tensiunii din punctul K, fig.5.9, sunt:

$$\begin{aligned}
\underline{U}_{K_{Rd}} &= \underline{E}_R - (R_D + Z_d) \cdot \underline{I}_{K_{Rd}} = (Z_i + Z_0 + 2R_D)\underline{I}_{K_{Rd}} \\
\underline{U}_{K_{Ri}} &= 0 - (R_D + Z_i)\underline{I}_{K_{Ri}} = -(Z_2 + R_D)\underline{I}_{K_{Rd}} \\
\underline{U}_{K_0} &= 0 - (R_D + Z_0) \cdot \underline{I}_{K_0} = -(Z_0 + R_D)\underline{I}_{K_{Rd}}
\end{aligned} \qquad (5.30)$$

iar în K', după rezistenţa R_D, prin adăugarea căderii de tensiune

Scanned with OKEN Scanner

$R_D \cdot \underline{I}_{K_{Rd}}$ rezultă:

$$\begin{aligned} \underline{U}_{K'_{Rd}} &= (Z_i + Z_0 + 3R_D)\underline{I}_{K_{Rd}} \\ \underline{U}_{K'_{Ri}} &= -Z_i \cdot \underline{I}_{K_{Rd}} \\ \underline{U}_{K'_0} &= -Z_0 \cdot \underline{I}_{K_{Rd}} \end{aligned} \qquad (5.31)$$

Tensiunile conductoarelor fără defect (S, T) față de pământ, în punctul K' sunt:

$$\underline{U}_{K'_S} = a^2\underline{U}_{K_{Rd}} + a\underline{U}_{K_{Ri}} + \underline{U}_{K_0} = [(a^2 - a)Z_i + (a^2 - 1)Z_0 + a^2 3R_D]\underline{I}_{K_{Rd}}$$

$$\underline{U}_{K'_T} = a\underline{U}_{K_{Rd}} + a^2\underline{U}_{K_{Ri}} + \underline{U}_{K_0} = [(a - a^2)Z_i + (a - 1)Z_0 + a3R_D]\underline{I}_{K_{Rd}}$$

$$\underline{U}_{K'_R} = R_D \cdot \underline{I}_{K_R} = 3 \cdot R_D \cdot \underline{I}_{K_{Rd}} \qquad (5.32)$$

Tensiunea de deplasare a neutrului, în regim de defect monofazat va avea expresia:

$$\underline{U}_{dd_R} = \underline{U}_{K'_R} + \underline{U}_{K'_S} + \underline{U}_{K'_T} = 3\underline{U}_{K_0} = -3Z_0 \cdot \underline{I}_{K_0} = -\frac{3Z_0 \cdot \underline{E}_R}{Z_d + Z_i + Z_0 + 3R_D} \qquad (5.33)$$

Ecuațiile ce caracterizează defectul monofazat (5.23 ÷ 5.33) s-au determinat fără a evidenția valorile impedanțelor $Z_{d_\Sigma}, Z_{i_\Sigma}, Z_{0_\Sigma}$, care depind de configurația rețelei și îndeosebi de modul de tratare a neutrului. Dacă valorile impedanțelor de secvență directă și inversă, nu depind de modul de tratare a neutrului, pentru o anumită configurație a RED-MT, impedanța de secvență homopolară este influențată în mare măsură de modul de tratare a neutrului. Din acest motiv defectul monoazat are caracteristici deosebite în funcție de modul de tratare a neutrului și va fi analizat separat pentru fiecare soluție de tratare în parte.

Indicele Σ se referă la suma elementelor dintre sursă și locul cu defect (K).

In fig. 5.10 se prezintă schema echivalentă a unei rețele trifazate

Scanned with OKEN Scanner

iar în fig.5.11 se prezintă schema echivalentă de secvenţă homopolară,

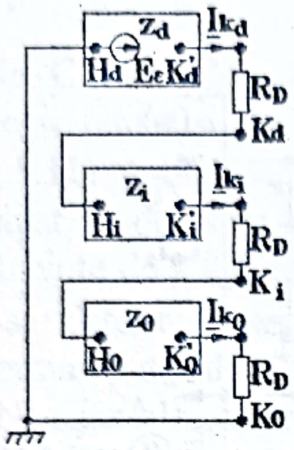


fig. 5.10

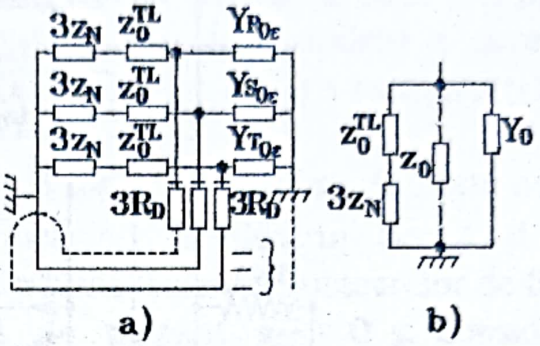


fig. 5.11

a reţelei cu o impedanţă Z_N conectată între neutrul TNA, fig.5.3, şi pământ, a cărui impedanţă echivalentă are expresia:

$$Z_0 = \frac{Z_0^{TL} + 3Z_N}{1 + Y_{0f}(Z_0^{TL} + 3Z_N)}, \qquad (5.34)$$

în care mărimile au semnificaţia de la fig.5.3 cu precizarea că $Y_{0f} = g_{0f} + j\omega C_{0f}$ reprezintă admitanţa faţă de pământ a unei faze a întregii reţele, formată dintr-un număr n, fig.5.12 de circuite, având fiecare capacităţile faţă de pământ ale fazelor $C_{01R}, C_{01S}, C_{01T}, C_{02R}, C_{02S}, C_{02T}, \ldots\ldots, C_{0nR}, C_{0nS}, C_{0nT}$.

5.3.1.1. Reţele cu neutrul izolat

In fig.5.12 se prezintă o RED-MT cu neutrul izolat, creat artificial prin TNA, având un defect monofazat la pământ prin rezistenţa R_D pe faza R în punctul K. Pe seama celor prezentate anterior (fig.5.3), în fig.5.12 nu s-au reprezentat şi curenţii de sarcină, a căror sumă vectorială rămâne nulă.

In RED-MT cu neutrul izolat, $Z_N = \infty$; $Y_N = 0$, iar impedanţa echivalentă de secvenţă homopolară, are expresia:

Scanned with OKEN Scanner

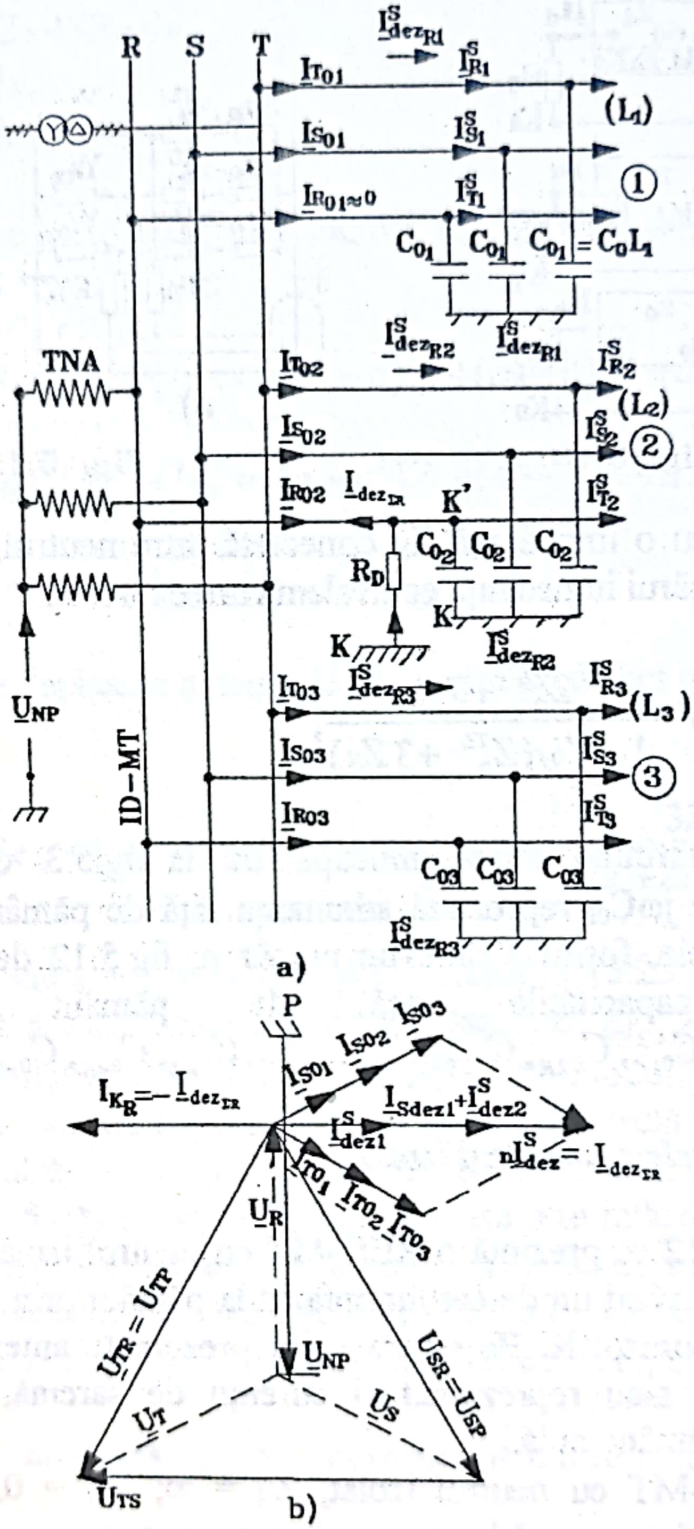


fig. 5.12

Scanned with OKEN Scanner

$$Z_0 = \frac{1}{Y_{0f}} = \frac{1}{g_{0f} + j\omega C_{0f}} \cong -j\frac{1}{\omega C_{0f}} = -j\frac{3}{\omega 3C_{0f}} = -j\frac{3}{\omega C_{\Sigma 0}} = -3jX_{\Sigma 0} \tag{5.35}$$

unde, $C_{\Sigma 0} = 3\ C_{0f}$ este capacitatea față de pământ a celor trei faze a întregii rețele și ca urmare singura cale de închidere a curentului (fig.5.11) rămâne capacitatea față de pământ ($C_{\Sigma 0}$) a întregii rețele (s-a neglijat conductanța g_{0f}).

Inainte de a calcula curentul de defect monofazat $\underline{I}_{K_R}$ este necesar să se determine curenții de încărcare ai fiecărui circuit și fază, determinați de admitanțele față de pământ ale conductoarelor de fază.

Neglijând conductanța față de pământ $g_{0f} = 0$ și considerând RED-MT echilibrată rezultă că admitanțele față de pământ ale unui circuit sunt egale:

$$Y_{0Ri} = Y_{0Si} = Y_{0Ti} = j\omega C_{0_i} \tag{5.36}$$

unde: $C_{0_i} = C_0^{'} \cdot L_i$ este capacitatea față de pământ a unei faze a unui circuit.

Curenții de încărcare, pe seama ipotezei (5.36) vor avea un caracter capacitiv și se obțin în funcție de tensiunile față de pământ (5.32) ale conductoarelor, în cazul unui defect pe faza R, astfel:

$$\begin{aligned} \underline{I}_{R_{0Ri}} &= j\omega C_{0_i} \underline{U}_{K'R} \\ \underline{I}_{S_{0Ri}} &= j\omega C_{0_i} \underline{U}_{K'S} \\ \underline{I}_{T_{0Ri}} &= j\omega C_0 \underline{U}_{K'T} \end{aligned} \tag{5.37}$$

Suma vectorială a acestora, pe circuitul i măsurabilă cu un filtru de curent de secvență homopolară tip TSH_i, se notează cu $\underline{I}^S_{dez\,Ri}$ și are expresia:

$$\underline{I}^S_{dez\,Ri} = j\omega C_{0_i}(\underline{U}_{K'R} + \underline{U}_{K'S} + \underline{U}_{K'T}) \tag{5.38}$$

Tinând cont de relațiile (5.31; 5.32), în care se consideră $Z_0 = -j3X_{\Sigma 0}$ (5.35) rezultă:

Scanned with OKEN Scanner

$$\underline{I}^{S}_{dez\,Ri} = -\frac{j3\omega\ C_{0i}}{1+j\omega\ C_{\Sigma 0}\cdot R_D}\cdot \underline{U}_R \qquad (5.39)$$

unde $C_{\Sigma 0} = 3\sum_{1}^{n} C_{0i}$, iar dacă se consideră că cele n circuite sunt identice ($C_{0i} = C_0$), atunci $C_{\Sigma 0} = 3nC_0$. In această ipoteză relaţia (5.39) devine:

$$\underline{I}^{S}_{dez\,R} = \frac{j\cdot 3\omega\ C_0}{1+j\,3\cdot nC_0\cdot\omega\ R_D}\cdot \underline{U}_R = \frac{1}{n}\,\frac{j\,3n\cdot\omega\ C_0}{1+j\,3n\omega\ C_0\cdot R_D}\cdot \underline{U}_R \qquad (5.40)$$

şi ca urmare curentul de încărcare capacitivă (I_C) al întregii reţele $\underline{I}_{dez\,\Sigma}$ şi care se scurge în pământ, are valoarea:

$$\underline{I}_{C_R} = \underline{I}_{dez\,\Sigma R} = \frac{jC_{\Sigma 0}\cdot\omega}{1+j\omega\ C_{\Sigma 0}\cdot R_D}\,\underline{U}_R = \Sigma\,\underline{I}^{S}_{dez\,Ri} = n\,\underline{I}^{S}_{dez\,R} \qquad (5.41)$$

Revenind la calculul curentului de defect monofazat $\underline{I}_{K_R}$ (5.29) este necesar să se introducă simplificările efectuate (g_{0f}=0), valoarea particulară a impedanţei homopolare (5.35) precum şi faptul că $Z_d, Z_i << Z_0$. Ca urmare din relaţia (5.28) rezultă:

$$\underline{I}_{K_{Rd}} = \frac{\underline{E}_R}{3R_D - j\,3X_{\Sigma 0}} = \frac{1}{3}\,\frac{\underline{E}_R}{R_D - jX_{\Sigma 0}} \qquad (5.42)$$

iar curentul prin faza cu defect (5.29), a circuitului cu defect ❷, fig.5.12, are expresia:

$$\underline{I}_{K_R} = 3\,\underline{I}_{K_{Rd}} = 3\,\underline{I}_{K_0} = \frac{\underline{E}_R}{R_D - j\ X_{\Sigma 0}} \qquad (5.43)$$

Considerând că $\underline{E}_R \cong \underline{U}_R$ din relaţiile (5.40), (5.41), şi (5.43) rezultă că:

Scanned with OKEN Scanner

$$\underline{I}_{K_R} = -\underline{I}_{dez_{\Sigma R}} = -\sum_{1}^{n} I^{S}_{dez\,Ri} = -n\underline{I}^{S}_{dez\,R} \qquad (5.44)$$

aşa cum este pus în evidenţă şi în fig.5.12, respectiv curentul de defect monofazat în RED-MT cu neutrul izolat reprezintă de fapt un curent capacitiv, determinat de admitanţele faţă de pământ ale fazelor şi care se închide prin pământ (R_D) şi faza pusă la pământ, prin care , evident, are un sens opus celui al curenţilor de dezechilibru de pe fiecare circuit, inclusiv cel cu defect.

Acest curent $\underline{I}_{K_R} = -\underline{I}_{dez_{\Sigma R}}$ are valori mici, valoarea lui şi deci lungimea RED-MT ($X_{\Sigma 0}$) fiind limitată la 10A (sau 30A) din considerente tehnice, respectiv de stingere a arcului la locul cu defect şi de restabilire a izolaţiei.

Datorită valorii mici a curentului de defect monofazat în RED-MT cu neutrul izolat acesta nu este considerat un curent de scurtcircuit, defectul reprezentând doar o punere monofazată la pământ, iar curentul de defect este un curent de punere la pământ [14; 17; 42].

$$\underline{I}_{K_R} = \underline{I}_{pp_R} \qquad (5.44')$$

Tensiunea de deplasare a neutrului în RED-MT cu neutrul izolat ($\underline{U}_{dd_0}$) se obţine din relaţia (5.33) prin înlocuirea mărimilor cu valorile lor particulare menţionate mai sus:

$$\underline{U}_{dd_{0R}} = -3\underline{I}_{K_0} Z_0 = -\frac{3\underline{U}_R}{1 + j\omega C_{\Sigma_0} \cdot R_D} \qquad (5.45)$$

In concluzie, curentul de punere monofazată la pământ şi tensiunea de deplasare a neutrului, depind de parametrii reţelei ($\underline{U}_{faza}$, $X_{\Sigma 0}$) dar şi de valoarea rezistenţei de punere la pământ (R_D), iar defazajul dintre $\underline{U}_{dd_0}$ şi $\underline{I}_{K_R}$ este de $\pi/2$ radiani, iar între $\underline{U}_{dd_0}$şi $\underline{I}^{S}_{dez\,i}$ este de minus $\pi/2$ radiani, indiferent de valoarea rezistenţei de punere la pământ R_D şi de faza cu defect.

Scanned with OKEN Scanner

In condițiile particulare de mai sus, din (5.32), (5.45), (5.43), tensiunile dintre conductoarele sănătoase (S,T) şi pământ şi pentru $R_D=0$,

$$\underline{U}_{K'S} = (a^2 - 1)\underline{U}_R = \sqrt{3} \cdot \underline{U}_R^{7\pi/6} = \underline{U}_{SR}$$
$$\underline{U}_{K'T} = (a - 1)\underline{U}_R = \sqrt{3}\, \underline{U}_R^{5\pi/6} = \underline{U}_{TR} \qquad (5.46)$$

şi ca urmare, în regim de defect monofazat, în cazul cel mai defavorabil ($R_D=0$) tensiunea conductoarelor (fazelor) sănătoase față de pământ creşte până la valoarea tensiunii de linie.

5.3.1.2. Rețele cu neutrul compensat.

In acest caz Z_N este mult mai mare decât impedanța liniei şi a transformatorului de creare a neutrului artificial. Dacă în (5.34) se consideră că bobina este acordată la rezonanță ($v=0$; $\omega C_{\Sigma 0}=1/\omega L$) şi se neglijează Z_0^{TL} atunci:

$$Z_0 = \frac{Z_0^{TL} + 3Z_N}{1 + 3Y_{0f}\left(\frac{Z_0^{TL}}{3} + \frac{1}{Y_N}\right)} \cong \frac{Z_0^{TL} + 3Z_N}{(Y_N + Y_{\Sigma 0})} \cdot Y_N = \infty \qquad (5.47)$$

deoarece, $Y_N + Y_{\Sigma 0} = 0$, unde $Y_{\Sigma 0} = 3Y_{0f} = 3(g_{0f} + j\omega C_{0f})$.

Ca urmare, curentul de defect monofazat (I_K), pe faza R pusă la pământ, fig.5.13, printr-o rezistență R_D este practic nul şi ca urmare pe fiecare circuit, inclusiv cel cu defect, se poate măsura cu un filtru de curent de secvență homopolară (de exemplu TSH) numai curentul de dezechilibru $\underline{I}^S_{dez}$ (5.39).

Din (5.28) şi (5.29) ținând cont de (5.47) rezultă, pentru ($\underline{E}_R = \underline{U}_R$):

$$\underline{I}_{K_R} = \frac{3\,\underline{U}_R}{Z_d + Z_i + Z_0 + 3R_D} = 0 \qquad (5.48)$$

Scanned with OKEN Scanner

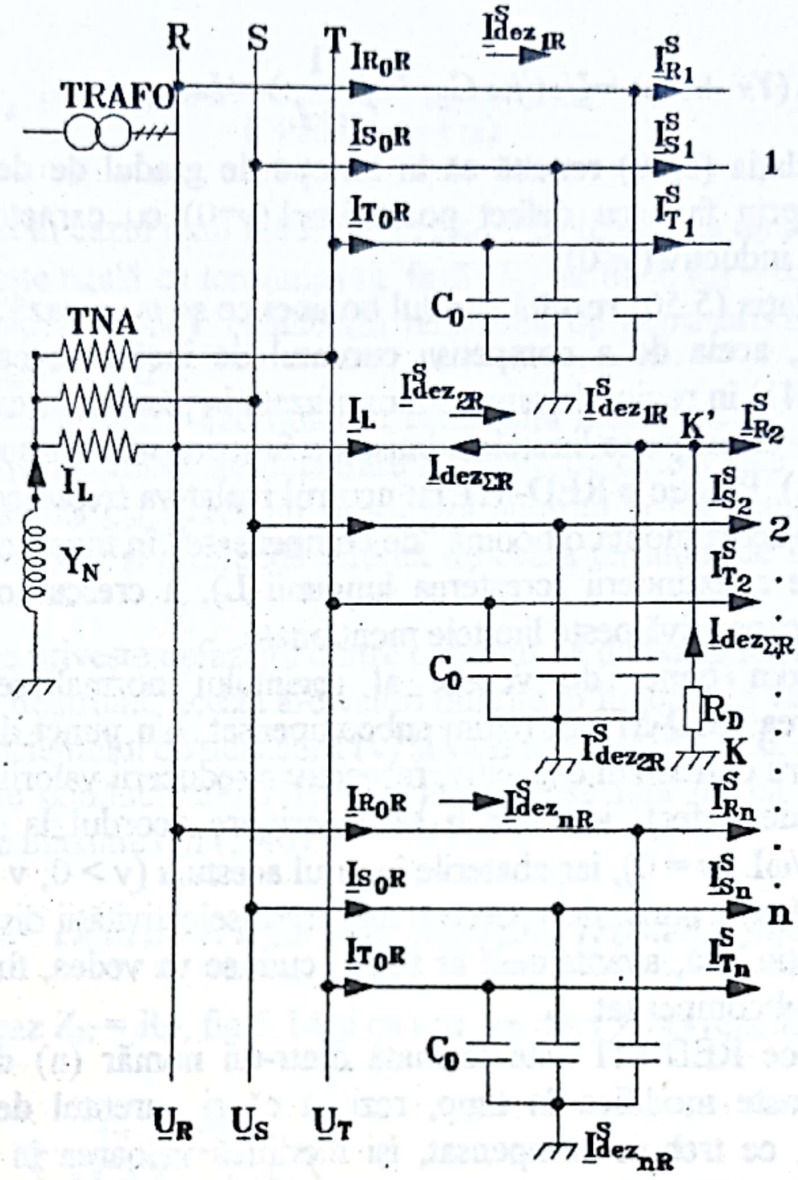


fig. 5.13

Tinând cont de aproximările de mai sus, pe seama relaţiilor (5.47), (5.48) şi a fig.5.11.b rezultă:

$$\underline{I}_{K_R} \cong \underline{U}_R \frac{3}{3R_D + Z_0} = \frac{3}{3R_D + \dfrac{3}{Y_{\Sigma 0} + Y_N}} \underline{U}_R = \frac{Y_N + Y_{\Sigma 0}}{1 + R_D(Y_N + Y_{\Sigma 0})} \underline{U}_R \quad (5.49)$$

Scanned with OKEN Scanner

sau:

$$\underline{I}_{K_R} \cong \underline{U}_R (Y_N + Y_{\Sigma 0}) = \underline{U}_R (j\omega C_{\Sigma 0} - j\frac{1}{\omega L}) = \underline{I}_{dez_{\Sigma R}} + \underline{I}_L \qquad (5.50)$$

Din relaţia (5.50) rezultă că în funcţie de gradul de dezacord (v) curentul prin faza cu defect poate fi nul (v=0), cu caracter capacitiv (v>0) sau inductiv (v<0).

Din relaţia (5.50) rezultă şi rolul bobinei ce se montează pe neutrul RED-MT, acela de a compensa curentul de încărcare capacitivă al reţelei (5.41) în regim de punere monofazată la pământ în cazul în care acesta are valori peste limitele admise de funcţionarea cu neutrul izolat (10A,30A). Practic o RED-MT cu neutrul izolat va trebui compensată, respectiv i se va monta o bobină "de compensare" în momentul în care, ca urmare a extinderii (creşterea lungimii L), a crescut curentul de încărcare capacitivă peste limitele menţionate.

Dacă din punct de vedere al regimului normal se impunea funcţionarea RED-MT în regim subcompensat, din punct de vedere a compensării curentului capacitiv, respectiv a reducerii valorii curentului prin faza de defect, ideal ar fi să se asigure acordul la rezonanţă ($\omega C_{\Sigma 0} = 1/\omega L$; v = 0), iar abaterile în jurul acestuia (v > 0; v < 0) nu au importanţă; din punct de vedere al asigurării selectivităţii dispozitivelor de protecţie însă, avantajoasă ar fi, aşa cum se va vedea, funcţionarea în regim subcompensat.

Deoarece RED-MT este formată dintr-un număr (n) de circuite, care se poate modifica în timp, rezultă că şi curentul de încărcare capacitivă, ce trebuie compensat, îşi modifică valoarea în funcţie de configuraţia RED-MT, la un moment dat. Rezultă că reactanţa ωL a bobinei de compensare trebuie să fie reglabilă şi să se modifice astfel încât să se menţină un anumit grad de dezacord (v) sau acord (K).

Acordarea bobinei de stingere se poate face manual sau cu dispozitive automate [15].

Tensiunea de deplasare a neutrului în regim de defect monofazat, în RED-MT compensate cu bobină de reactanţă (ωL), rezultă din (5.33) pentru $Z = \dfrac{3}{Y_N + Y_{\Sigma 0}}$

Scanned with OKEN Scanner

$$\underline{U}_{dd_L} = -3\,\underline{I}_0 Z_0 = \frac{-\underline{U}_R}{1 + R_D(Y_N + Y_{\Sigma 0})} \qquad (5.51)$$

Rezultă că în cazul unui defect ferm ($R_D = 0$) tensiunea de deplasare a neutrului este egală cu tensiunea de fază $\underline{U}_R$, iar dacă $R_D = \infty$, (regim normal) într-o RED-MT echilibrată tensiunea de deplasare este nulă (5.13) deoarece $\mu = 0$.

Deasemeni, în cazul acordului la rezonanţă indiferent de valoarea rezistenţei R_D, tensiunea de deplasare în regim de defect este egală cu tensiunea de fază $\underline{U}_R$. Dacă nu se asigură acordul la rezonanţă atunci $\underline{U}_{dd_L}$ are o valoare şi o direcţie diferită de cea a tensiunii de fază ce o determină.

In ceea ce priveşte defazajul dintre curentul de defect şi tensiunea de deplasare a neutrului, acesta are valori diferite în funcţie de valoarea şi semnul coeficientului de dezacord (v) şi va fi analizat în cap.6.

Tensiunile conductoarelor (fazelor) sănătoase faţă de pământ pot avea valorile maxime din (5.46).

5.3.1.3. Reţele cu neutrul legat la pământ prin rezistenţă limitatoare.

In acest caz $Z_N = R_N$, fig.5.14 şi ca urmare din (5.34) rezultă:

$$Z_0 = \frac{Z_0^{TL} + 3R_N}{1 + Y_0(Z_0^{TL} + 3R_N)} \qquad (5.52)$$

iar curentul de defect monofazat (5.29) are expresia ($E_{\Sigma_R} = \underline{U}_R$):

$$\underline{I}_{K_R} = \frac{3\underline{U}_R}{Z_d + Z_i + \dfrac{Z_0^{TL} + 3R_N}{1 + Y_0(Z_0^{TL} + 3R_N)} + 3R_D} \qquad (5.53)$$

Scanned with OKEN Scanner

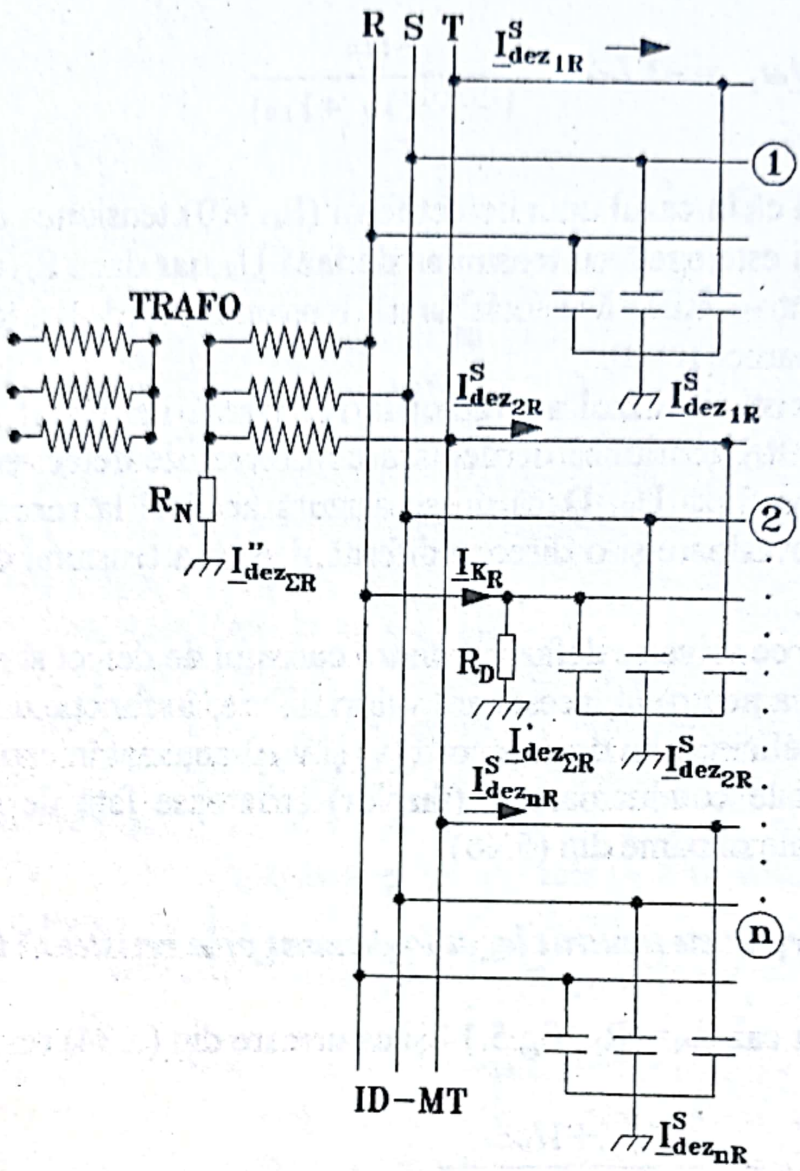


fig. 5.14

Valoarea maximă a acestui curent se obține când defectul are loc pe barele ID-MT, prin $R_D = 0$ şi când $Z_0^T << R_N$ (transformatorul de forță din stația de transformare al cărui neutru se leagă la pământ are puterea nominală destul de mare).

$$\underline{I}_{K_R} = \frac{\underline{U}_R}{R_N}(1 + Y_0 \cdot 3R_N) = \frac{\underline{U}_R}{R_N} + \underline{U}_R \cdot j\omega C_{\Sigma 0} \qquad (5.54)$$

Scanned with OKEN Scanner

Deci în acest caz curentul de defect are o componentă activă de valoare deosebit de mare, este deci un curent de scurtcircuit şi o componentă capacitivă determinată de curentul de încărcare al întregii reţele. Curentul de încărcare capacitivă $\underline{I}_{dez\,\Sigma R}$, în acest caz (când R_N are valoare mică, comparabilă cu cea a rezistenţei R_D) nu se mai închide numai prin rezistenţa de punere la pământ ($\underline{I}'_{dez\,\Sigma R}$) ci şi prin cea de legare la pământ ($\underline{I}''_{dez\,\Sigma R}$).

In literatura de specialitate [14; 17] s-au definit parametrii:

$$\beta = \frac{|\underline{I}_{K_R}|}{|I_{K_R} + \underline{I}_{dez\,\Sigma R}|} \tag{5.55}$$

şi

$$\beta_d = \frac{|\underline{I}_{K_R}|}{|I_{K_R} + \underline{I}'_{dez\,\Sigma R}|} \tag{5.55'}$$

a căror valoare este cuprinsă între $\beta \in (0{,}9 \div 1)$ respectiv $\beta_d \in (0.98 \div 1)$ în funcţie de caracteristicile RED-MT, de valoarea rezistenţei de limitare R_N şi îndeosebi de valoarea rezistenţei de defect R_D.

Tensiunea de deplasare a neutrului $\underline{U}_{dd}$ din relaţia (5.33) rezultă, prin neglijarea admitanţei Y_0:

$$\underline{U}_{dd_R} \cong -\frac{3\underline{U}_R(3R_N + Z_0^{TL})}{Z_d + Z_i + 3R_D + 3R_N + Z_0^{TL}} \tag{5.56}$$

Valoarea acestei tensiuni depinde de caracteristicile RED-MT şi de cele ale rezistenţelor R_N şi R_D. Defazajul ei în raport cu $\underline{I}_{K_R}$ şi în acest caz, nu depinde de valoarea rezistenţei R_D.

Tensiunile faţă de pământ (5.32) în acest caz, au valori mai reduse decât în cazul RED-MT cu neutrul izolat sau compensat.

Scanned with OKEN Scanner

5.3.2 Defectul bifazat.

Considerând prin defect bifazat un defect care implică două faze, se pot întâlni următoarele cazuri particulare.

5.3.2.1. Scurtcircuitul bifazat.

Defectul bifazat dintre două faze S şi T, printr-un arc de rezistenţă R_a fig.5.15a, poate fi considerat ca un defect bifazat metalic pe o derivaţie a RED, ale cărei faze au rezistenţele identice şi egale cu $R_a/2$, fig.5.15b şi datorită valorilor mari ale curenţilor are caracteristicile unui

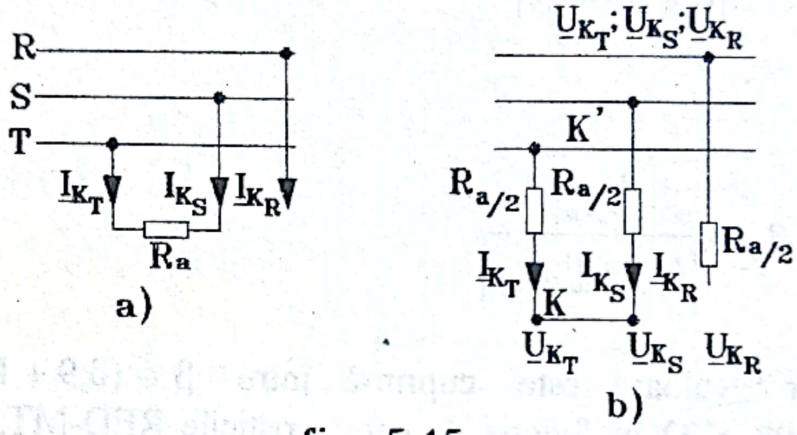


fig. 5.15

regim de scurtcircuit.

Condiţiile limită pentru acest tip de defect sunt:

$$\underline{I}_{K_R} = 0 \tag{5.57}$$

$$\underline{I}_{K_S} = -\underline{I}_{K_T} \tag{5.58}$$

$$\underline{U}_{K_S} - \underline{U}_{K_T} = 0 \tag{5.59}$$

iar în punctul K'

$$\underline{U}_{K'_S} - \underline{U}_{K'_T} = \underline{I}_{K_S} \cdot R_a \tag{5.60}$$

Deoarece, indiferent de modul de tratare a neutrului, la orice tip de defect care nu determină şi un contact cu acesta, nu apare curent de

Scanned with OKEN Scanner

dezechilibru, respectiv componenta de secvenţă homopolară ($\underline{I}_{K0} = 0$), rezultă că:

$$\underline{I}_{K_R} + \underline{I}_{K_S} + \underline{I}_{K_T} = 0$$

şi

$$\underline{I}_{K_R} = \underline{I}_{K_{Rd}} + \underline{I}_{K_{Ri}} = 0 \qquad (5.61)$$

de unde:

$$\underline{I}_{K_{Rd}} = -\underline{I}_{K_{Ri}} \qquad (5.62)$$

Inlocuind în relaţia (5.59) tensiunile reale prin componenetele lor directe, inverse şi homopolare rezultă:

$$a^2\underline{U}_{K_{Rd}} + a\underline{U}_{K_{Ri}} + \underline{U}_{K_0} - a\underline{U}_{K_{Rd}} - a^2\underline{U}_{K_{Ri}} - \underline{U}_{K_0} =$$
$$(a^2 - a)(\underline{U}_{K_{Rd}} - \underline{U}_{K_{Ri}}) = 0$$

de unde:

$$\underline{U}_{K_{Rd}} = \underline{U}_{K_{Ri}} \qquad (5.63)$$

Explicitând, pe seama relaţiilor (5.1), componentele de tensiune:

$$\underline{U}_{K_{Rd}} = \underline{E}_R - (Z_d + R_a/2)\underline{I}_{K_{Rd}}$$
$$\underline{U}_{K_{Ri}} = -(Z_i - R_a/2)\underline{I}_{K_{Ri}} \qquad (5.64)$$

şi eliminând din primele două relaţii tensiunile $\underline{U}_{K_{Rd}}$ şi $\underline{U}_{K_{Ri}}$, şi pe seama relaţiilor (5.62) şi (5.63) rezultă:

$$\underline{E}_R - \underline{I}_{K_{Rd}}(Z_d + R_a/2) = +(Z_i + R_a/2)\underline{I}_{K_{Rd}}$$

de unde

$$\underline{I}_{K_{Rd}} = \frac{\underline{E}_R}{Z_d + Z_i + R_a} \qquad (5.65)$$

Scanned with OKEN Scanner

Curenţii de defect de pe fazele S şi T vor fi, ţinând cont de (5.62):

$$\underline{I}_{K_S} = a^2 \underline{I}_{K_{Rd}} + a\underline{I}_{K_{Ri}} = (a^2 - a)\underline{I}_{K_{Rd}} = -j\sqrt{3}\,\underline{I}_{K_{Rd}} \qquad (5.66)$$

iar

$$\underline{I}_{K_T} = -\underline{I}_{K_T} = +j\cdot\sqrt{3}\,\underline{I}_{K_{Rd}} \qquad (5.66')$$

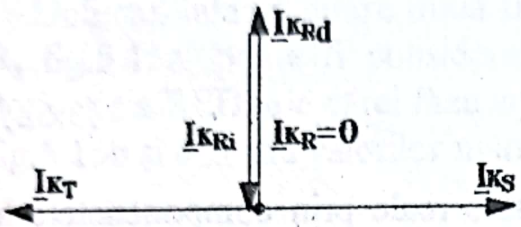


fig. 5.16

Componentele simetrice ale tensiunilor se obţin pe seama relaţiilor (5.64), (5.62) şi (5.63):

$$\underline{U}_{K_{Ri}} = -(Z_i + R_a/2)\underline{I}_{K_{Ri}} = (Z_i + R_a/2)\underline{I}_{K_{Rd}} = \underline{U}_{K_{Rd}} \qquad (5.67)$$

Tensiunile conductoarelor, în punctul K, au expresiile:

$$\underline{U}_{K_R} = \underline{U}_{K_{Rd}} + \underline{U}_{K_{Ri}} = 2\underline{U}_{K_{Rd}} = 2(Z_i + R_a/2)\underline{I}_{K_{Rd}} \qquad (5.68)$$

$$\underline{U}_{K_S} = \underline{U}_{K_T} = a^2\underline{U}_{K_{Rd}} + a\underline{U}_{K_{Ri}} = (a^2 + a)\underline{U}_{K_{Rd}} = -\underline{U}_{K_{Rd}} = -\frac{\underline{U}_{K_R}}{2} \qquad (5.69)$$

confirmându-se că $\underline{U}_{K_R} + \underline{U}_{K_S} + \underline{U}_{K_T} = 0$ şi $\underline{U}_{K0} = 0$.

Componentele $\underline{U}_{K'_{Rd}}$ şi $\underline{U}_{K'_{Ri}}$, în punctul K' rezultă astfel:

$$\underline{U}_{K'_{Rd}} = \underline{U}_{K_{Rd}} + R_a/2\cdot\underline{I}_{K_{Rd}} = (Z_i + R_a)\underline{I}_{K_{Rd}} \qquad (5.70)$$

$$\underline{U}_{K'_{Ri}} = \underline{U}_{K_{Ri}} + R_a/2\cdot\underline{I}_{K_{Ri}} = (Z_i + R_a/2)\underline{I}_{K_{Rd}} - R_a/2\cdot\underline{I}_{K_{Rd}} = Z_i\underline{I}_{K_{Rd}} \qquad (5.71)$$

Pe seama analizei scurtcircuitului bifazat rezultă schema echivalentă complexă din fig.5.17 prin conectarea în opoziţie a schemelor de succesiune directă şi inversă din fig.5.2.

Scanned with OKEN Scanner

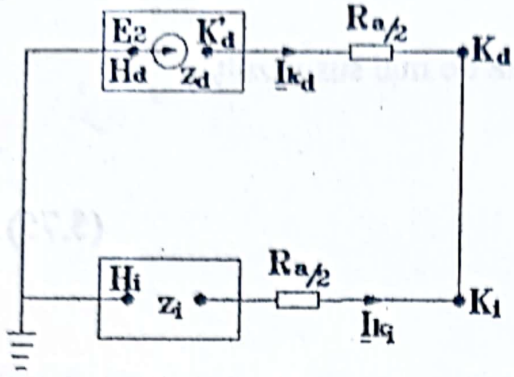


fig. 5.17

Deci scurtcircuitul bifazat se caracterizează prin : valori mari ale curenţilor pe fiecare din fazele cu defect;suma curenţilor de pe cele trei faze este nulă; existenţa componentelor inverse de curent şi de tensiune.

Tensiunile faţă de pământ ale conductoarelor au valori mai mici decât în cazul defectului monofazat.

5.3.2.2. Scurtcircuit bifazat cu punere la pământ.

In fig.5.18 se presupune că simultan cu un scurtcircuit prin arc de rezistenţă R_a (pe fiecare fază) între fazele S şi T acestea au contact şi cu pământul prin rezistenţa R_D. Acest tip de defect se caracterizează prin următoarele condiţii limită:

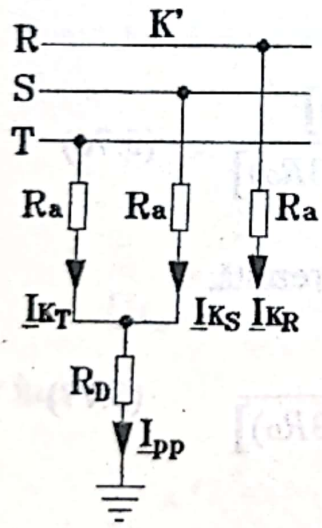


fig. 5.18

$$\underline{I}_{K_R} = 0 \qquad (5.72)$$

$$\underline{U}_{K_S} = \underline{U}_{K_T} = R_d \cdot \underline{I}_p = 3R_D \underline{I}_{K_0} \qquad (5.73)$$

şi ca urmare, analog cu (5.63):

$$\underline{U}_{K_{Rd}} = \underline{U}_{K_{Ri}} \qquad (5.74)$$

Pe de altă parte din (5.73) se poate scrie:

$$\underline{U}_{K_S} = a^2 \underline{U}_{K_{Rd}} + a\underline{U}_{K_{Ri}} + \underline{U}_{K_0} =$$
$$-\underline{U}_{K_{Rd}} + \underline{U}_{K_0} = 3\underline{I}_{K_0} \cdot R_D \qquad (5.73')$$

sau şi din (5.1)

Scanned with OKEN Scanner

$$\underline{I}_{K_0} = \frac{-\underline{U}_{K_0}}{Z_0 + R_a}$$ şi înlocuind relaţia de mai sus rezultă:

$$-\underline{U}_{K_{Rd}} + \underline{U}_{K_0} = -3 \cdot R_D \frac{\underline{U}_{K_0}}{Z_0 + R_a} \qquad (5.75)$$

şi ca urmare:

$$\underline{U}_{K_0} = \frac{Z_0 + R_a}{Z_0 + R_a + 3R_D} \cdot \underline{U}_{K_{Rd}} \qquad (5.75')$$

Rescriind expresia (5.72) prin intermediul componentelor simetrice explicitate din (5.1) şi pe baza (5.74) şi (5.75') rezultă:

$$\underline{I}_{K_R} = \underline{I}_{K_{Rd}} + \underline{I}_{K_{Ri}} + \underline{I}_{K_0} = \frac{\underline{E}_R - \underline{U}_{K_{Rd}}}{Z_d + R_a} + \frac{0 - \underline{U}_{K_{Rd}}}{Z_i + R_a} + \frac{0 - \underline{U}_{K_{Rd}}}{Z_0 + R_a + 3R_D}$$

de unde:

$$\underline{U}_{K_{Rd}} = \frac{\underline{E}_R \left[(Z_i + R_a) // (Z_0 + R_a + 3R_D) \right]}{(Z_d + R_a) + \left[(Z_i + R_a) // (Z_0 + R_a + 3R_D) \right]} \qquad (5.76)$$

Din (5.1) pe baza (5.76), după o serie de calcule rezultă:

$$\underline{I}_{K_{Rd}} = \frac{\underline{E}_R}{(Z_d + R_a) + \left[(Z_i + R_a) // (Z_0 + R_a + 3R_D) \right]} \qquad (5.77)$$

şi ca urmare (5.76) se poate scrie:

$$\underline{U}_{K_{Rd}} = \left[(Z_i + R_a) // (Z_0 + R_a + 3R_D) \right] \cdot \underline{I}_{K_{Rd}} \qquad (5.76')$$

Din condiţia limită (5.70), relaţia (5.74) şi expresia determinată pentru $\underline{I}_{K_{Rd}}$ rezultă:

Scanned with OKEN Scanner

$$\underline{I}_{K_{Ri}} = \frac{(Z_0 + R_a + 3R_D)}{(Z_i + R_a) + (Z_0 + R_a + 3R_D)} \cdot \underline{I}_{K_{Rd}} \qquad (5.78)$$

$$\underline{I}_{K_0} = \frac{(Z_i + R_a)}{(Z_i + R_a) + (Z_0 + R_a + 3R_D)} \cdot \underline{I}_{K_{Rd}} \qquad (5.79)$$

iar curenții pe fazele cu defect și prin pământ au expresiile:

$$\underline{I}_{K_S} = \left[a^2 - \frac{(Z_i + R_a) + a(Z_0 + R_a + 3R_D)}{(Z_i + R_a) + (Z_0 + R_a + 3R_D)} \right] \underline{I}_{K_{Rd}} \qquad (5.80)$$

$$\underline{I}_{K_T} = \left[a - \frac{Z_i + R_a + a^2(Z_0 + R_a + 3R_D)}{Z_i + R_a + (Z_0 + R_a + 3R_D)} \right] \underline{I}_{K_{Rd}} \qquad (5.81)$$

$$\underline{I}_{pp} = 3\underline{I}_{K_0} = \underline{I}_{K_S} + \underline{I}_{K_T} = -\frac{3(Z_i + R_a)}{Z_i + R_a + (Z_0 + R_a + 3R_D)} \cdot \underline{I}_{K_{Rd}} \qquad (5.82)$$

Tensiunile fazelor în raport cu pământul, în punctul K, sunt

$$\underline{U}_{K_R} = \underline{U}_{K_{Rd}} + \underline{U}_{K_{Ri}} + \underline{U}_{K_0} = 3\underline{U}_{K_{Ri}} \frac{Z_0 + R_a' + 2R_D}{Z_0 + R_a + 3R_D} \qquad (5.83)$$

$$\underline{U}_{K_S} = \underline{U}_{K_T} = -3\,\underline{U}_{K_{Rd}} \frac{R_D}{Z_0 + R_a + 3R_D} \qquad (5.84)$$

iar în K':

$$\underline{U}_{K'_R} = \underline{U}_{K_R} \qquad (5.85)$$

$$\underline{U}_{K'_S} = \underline{U}_{K_S} + R_a \cdot \underline{I}_{K_S} \qquad (5.86)$$

$$\underline{U}_{K'_T} = \underline{U}_{K_T} + R_a \cdot \underline{I}_{K_T} \qquad (5.87)$$

Din analiza scurtcircuitului bifazat rezultă că în funcție de valoarea rezistenței R_D (contactul cu pământul) rezultă limitele:

Scanned with OKEN Scanner

$R_D = 0$; dublă punere la pământ prin R_D = R_a;
$R_D = \infty$; scurtcircuit bifazat.

Scurtcircuitul bifazat cu punere la pământ pe lângă valorile mari ale curenților prin fazele cu defect determină și apariția unui curent de dezechilibru ($\underline{I}_p$) măsurabil cu un filtru de curent de secvență homopolară, precum și a unei tensiuni de nesimetrie ($3\underline{U}_{K_0}$).

5.3.2.3. Dubla punere la pământ.

Expresiile analitice ale mărimilor electrice în regim de dublă punere la pământ, fig.5.19, sunt cele determinate pentru scurtcircuitul bifazat în care însă se înlocuiește R_a cu R_D, iar termenul care îl conținea pe R_D devine nul.

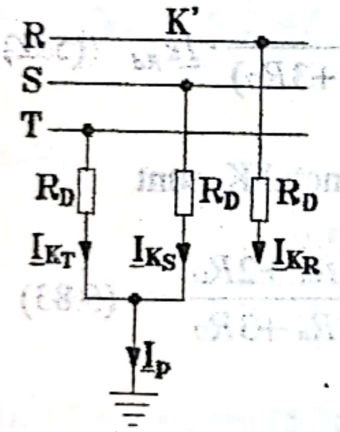


fig. 5.19

Analiza acestui tip de defect este necesară deoarece cele două puneri la pământ se pot produce pe circuite diferite (ca urmare a evoluției primului defect monofazat) sau pe același circuit în puncte diferite, ceea ce ridică o serie de probleme în asigurarea funcționării corecte a dispozitivelor de protecție.

5.3.3. Scurtcircuitul trifazat.

Regimul de scurtcircuit trifazat simetric într-o RED-MT echilibrată, indiferent de modul de tratare a neutrului și dacă este sau nu cu punere la pământ [2] reprezintă un caz particular al unei sarcini conectate în punctul (K) de scurtcircuit, fig.5.20;

Scanned with OKEN Scanner

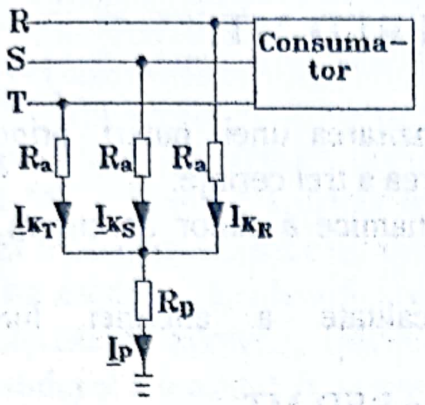


fig. 5.20

Evident, dacă defectul trifazat este simetric

$$\underline{I}_{K_R} + \underline{I}_{K_S} + \underline{I}_{K_T} = \underline{I}_D = 0 \qquad (5.88)$$

şi ca urmare:

$$|\underline{U}_{K_R}| = |\underline{U}_{K_S}| = |\underline{U}_{K_T}| \qquad (5.89)$$

respectiv:

$$\underline{U}_{K_R} + \underline{U}_{K_S} + \underline{U}_{K_T} = 3\underline{U}_0 = 0 \qquad (5.89')$$

şi atunci din (5.1) rezultă că $\underline{I}_0 = 0$ şi ca urmare:

$$\underline{I}^S_{dez\,i} = \underline{I}^d_{dez} = 0 \qquad (5.90)$$

Deci regimul de defect trifazat nu este însoţit de apariţia componentelor inversă şi îndeosebi homopolară de curent sau tensiune.

Singura mărime relevantă a regimului de defect trifazat este valoarea foarte mare a curentului de defect; din acest motiv defectul trifazat are caractristicile unui scurtcircuit.

$$\underline{I}_K = \underline{I}_{K_d} = \frac{\underline{E}}{Z_{d_K}} \cong \frac{U_f}{Z_{d_{f_K}}} \qquad (5.91)$$

unde: Z_{d_K} reprezintă impedanţa de secvenţă directă de la sursă până la locul cu defect.

Tensiunile remanente în punctul K,

$$\begin{aligned} \underline{U}_{K_R} &= \underline{I}_{K_R} \cdot R_a \\ \underline{U}_{K_S} &= \underline{I}_{K_S} \cdot R_a \\ \underline{U}_{K_T} &= \underline{I}_{K_T} \cdot R_a \end{aligned} \qquad (5.92)$$

sunt o funcţie de valoarea rezistenţei arcului (R_a) la locul cu defect.

Dacă valoarea celor trei rezistenţe (R_a) ale arcului, de pe cele trei faze, nu sunt egale, defectul este trifazat nesimetric. In acest caz condiţiile (5.86), (5.87) şi (5.88) nu mai sunt îndeplinite. Un asemenea caz particular poate însă să fie asimilat, în funcţie de soluţia de tratare a neutrului, cu unul din tipurile de defecte prezentate anterior.

Scanned with OKEN Scanner

CAP.6. METODE ACTUALE DE OBSERVARE A DEFECTELOR ÎN RED-MT.

Aşa cum este cunoscut [7; 19] tranzitarea unei puteri printr-o RED-MT, trebuie să se facă cu îndeplinirea a trei cerinţe:

- menţinerea stabilităţii termice şi dinamice a căilor de curent ale RED-MT;
- asigurarea parametrilor de calitate a energiei livrate consumatorilor;
- rentabilitatea tranzitului de energie pe RED-MT.

Dispozitivele automate de protecţie au rolul de a asigura protejarea elementelor componente ale RED-MT, împotriva suprasolicitărilor la care acestea sunt supuse de către un eventual regim de defect, respectiv de a asigura prima cerinţă evidenţiată mai sus.

Un dispozitiv de protecţie reprezintă însă o soluţie tehnică (mijloc [17]) de aplicare a unei metode (principiu) de identificare a existenţei unei stări anormale sau de defect. In contextul acestei lucrări, identificarea cu un dispozitiv de protecţie, a existenţei unui defect este o condiţie necesară dar nu şi suficientă pentru proprietatea de observabilitate a RED-MT, deoarece, din cerinţa de asigurare a unui anumit nivel al continuităţii în alimentare, aşa cum s-a arătat în cap.3, trebuie să se localizeze într-un timp cât mai scurt (t_{loc} (3.1)) elementul cu defect. Aşa cum s-a arătat (cap.4) acţiunea unui element de protecţie nu este suficientă întotdeauna şi pentru localizarea elementului cu defect.

In acest capitol, pe seama caracteristicilor regimurilor de defect (cap.5) se vor prezenta metodele (posibilităţile teoretice) ce permit observarea unui defect, respectiv:

- identificarea existenţei unui regim de defect în RED-MT;
- localizarea elementului RED-MT în care s-a produs respectivul defect.

Aşa cum s-a arătat (cap.4) identificarea existenţei unui defect, respectiv acţiunea unui dispozitiv de protecţie, nu este şi suficientă întotdeauna pentru localizarea elementului RED-MT în care s-a produs

Scanned with OKEN Scanner

defectul. De regulă, localizarea, urmează identificării (acţiunii unui dispozitiv de protecţie) şi se asigură prin lecturarea stării dispozitivelor de protecţie dintr-un contur dat (PA, pentru localizarea circuitului, distribuitorului, sau distribuitor pentru localizarea tronsonului acestuia). Factorii care determină posibilităţile de localizare sunt: configuraţia RED-MT şi dotarea acesteia cu aparate de comutaţie (întrerupătoare) ce pot fi comandate şi de un dispozitiv de protecţie.

Este evident că, identificarea existenţei unui defect se va baza pe caracteristicile acestuia, respectiv pe valorile şi modul de variaţie a curentului şi a tensiunii în regim tranzitoriu şi stabilizat.

In continuare se vor prezenta metodele aplicate în prezent pentru identificare unui anumit defect, pentru fiecare tip de RED-MT.

6.1. METODE DE IDENTIFICARE A DEFECTULUI MONOFAZAT.

6.1.1. Punerea monofazată la pământ în RED-MT cu neutrul izolat.

Deoarece punerea monofazată la pământ se caracterizează prin curenţi de defect mici şi care se suprapun peste cei de sarcină, fig.5.12, şi prin conservarea valorii tensiunilor dintre faze, în general, nu se impune deconectarea, fiind suficientă semnalizarea, identificarea existenţei defectului şi indicarea (localizarea) circuitului (distribuitorului), în scopul adoptării unor măsuri, de către personalul de conducere şi exploatare, pentru izolarea acestuia.

Dacă efectul curenţilor de punere la pământ nu impune deconectarea acestuia, nivelul tensiunilor dintre fazele sănătoase şi pământ (5.32)(5.46), îndeosebi în reţelele extinse, cu multe ramificaţii, poate determina evoluţia defectului (străpungerea izolaţiei pe o altă fază) şi transformarea lui într-o dublă punere la pământ.

Ca urmare, în asemebea cazuri, se practică deconectarea manuală a circuitului cu punerea monofazată la pământ, cât mai repede, chiar înainte de a asigura trecerea consumatorilor pe o alimentare de rezervă. Reducerea duratei suprasolicitării izolaţiei fazelor sănătoase la 1÷3

Scanned with OKEN Scanner

secunde prin deconectarea automată a circuitului cu defect are deci efecte pozitive asupra calităţii energiei electrice furnizate consumatorilor.

Din analiza regimului de punere monofazată la pământ (subparag.5.3.1.1) a rezultat că mărimile ce îl caracterizează şi prin controlul cărora se poate asigura identificarea existenţei şi localizarea circuitului cu defect sunt:

a) tensiunea de deplasare a neutrului (5.45):

$$\underline{U}_{dd_0} = 3\underline{U}_{K'_0} \cong \frac{3\underline{U}_f}{1 + j \cdot n \cdot \omega\, C_0 \cdot R_D} = \frac{3\underline{U}_f}{1 + jR_D\omega\, C_{\Sigma 0}} \qquad (6.1)$$

Rezultă că tensiunea de deplasare a neutrului, ce se poate obţine cu ajutorul unui filtru de tensiune de secvenţă homopolara (FTSH), este, pentru o reţea dată, o funcţie de valoarea rezistenţei de trecere (R_D) la locul cu defect şi de faza pusă la pământ. Alegând ca referinţă tensiunea de fază a fazei pusă la pământ (de exemplu R), folosind reprezentarea în planul complex al acestui fazor, sub forma:

$$\underline{U}_{dd_{0R}}(jR_D) = A'(R_D) + jB'(R_D) \qquad (6.2)$$

pe seama (6.1) rezultă:

$$\underline{U}_{dd_{0R}} = 3\underline{U}_R \left[-\frac{1}{1 + (R_D\omega\, C_{\Sigma 0})^2} + j\frac{R_D\omega\, C_{\Sigma 0}}{1 + (R_D\omega\, C_{\Sigma 0})^2} \right] = \underline{U}_R [A(R_D) + jB(R_D)] \qquad (6.3)$$

unde:

$$A'(R_D) = \underline{U}_R \cdot A(R_D) = \frac{3\underline{U}_R}{1 + (R_D\omega\, C_{\Sigma 0})^2}$$

Scanned with OKEN Scanner

$$B'(R_D) = \underline{U}_R B(R_D) = \frac{3R_D\omega C_{\Sigma 0}}{1+(R_D\omega C_{\Sigma 0})^2}\cdot \underline{U}_R \qquad (6.4)$$

Notând cu φ_0 unghiul dintre fazorul $\underline{U}_{dd_0}$ şi axa reală (U_R) rezultă:

$$\varphi_0 = arctg(-R_D\cdot\omega C_{\Sigma 0}) = -arctg(R_D\omega C_{\Sigma 0}) \qquad (6.5)$$

In fig.6.1 este reprezentat locul geometric al extremităţii fazorului tensiunii $\underline{U}_{dd_{0R}}(jR_D)$ conform (6.2 ÷ 6.4) care reprezintă un semicerc.

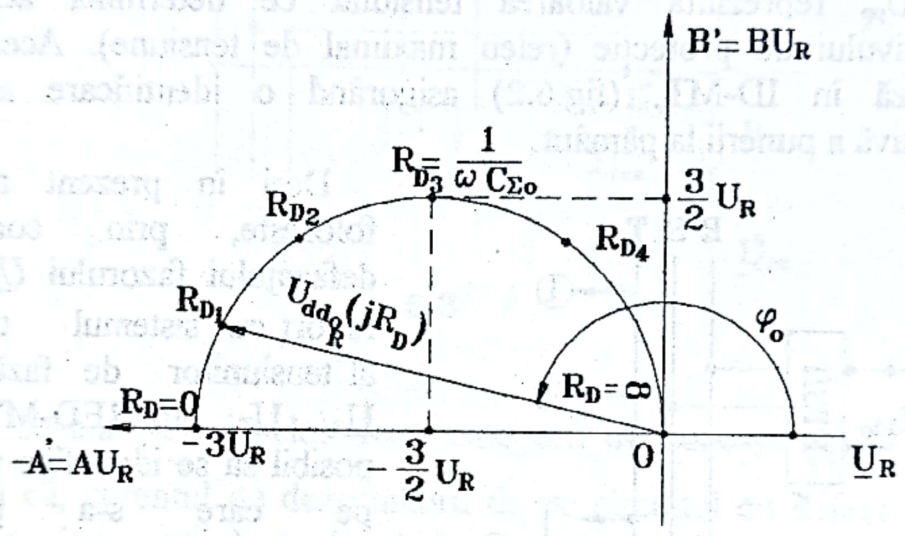


fig.6.1

Din această reprezentare se constată că pentru valorile extreme ale rezistenţei R_D se obţin următoarele valori ale componentelor tensiunii $\underline{U}_{dd_0}(jR_D)$:

- $R_D = 0$:

$$U_{dd_{0R}}(j0) = -3U_R + j0 = -3U_R \;;\; \varphi_0 = \pi$$

- $R_D = \infty$:

$$U_{dd_{0R}}(j\infty) = 0 + j0 = 0 \;;\; \varphi_0 = \frac{\pi}{2}$$

Scanned with OKEN Scanner

Rezultă că se poate identifica existenţa unei puneri monofazate la pământ prin controlul valorii (modului) fazorului $\underline{U}_{dd_0}$ obţinut de la un FTSH. Domeniul de aplicare al acestei metode depinde de sensibilitatea mijlocului (dispozitivului) cu care se aplică, în sensul că se pot sesiza puneri la pământ prin rezistenţe până la o valoare $R_{D_{max}}$, unde $R_{D_{max}}$ rezultă din condiţia:

$$\left|\underline{U}_{dd_0}(jR_{D_{max}})\right| = U_{pp} \qquad (6.6)$$

unde U_{pp} reprezintă valoarea tensiunii ce determină acţiunea dispozitivului de protecţie (releu maximal de tensiune). Acesta se montează în ID-MT, (fig.6.2) asigurând o identificare absolut neselectivă a punerii la pământ.

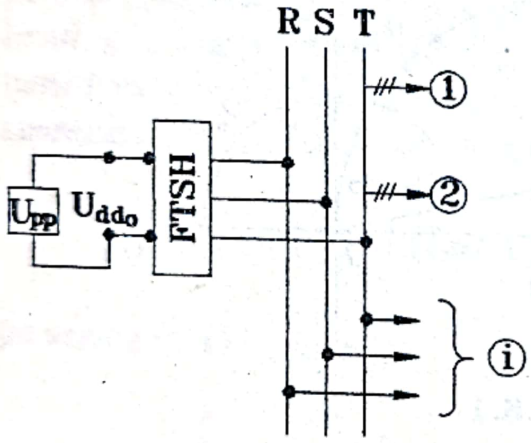


fig.6.2

Deşi în prezent nu se foloseşte, prin controlul defazajului fazorului $\underline{U}_{dd_0}$ în raport cu sistemul trifazat al tensiunilor de fază $\underline{U}_R$, $\underline{U}_S$, $\underline{U}_T$ din RED-MT este posibil să se identifice şi faza pe care s-a produs punerea monofazată la pământ.

b) curentul de dezechilibru de pe circuitele sănătoase (5.39) $\underline{I}^S_{dez_i}$ este un curent de secvenţă homopolară şi ca urmare se poate obţine numai prin intermediul unui filtru de curent de secvenţă homopolară (FCSH) montat pe fiecare circuit, fig.6.3.

c) curentul de dezechilibru de pe circuitul cu defect $\underline{I}^d_{dez_i}$ măsurat tot cu FCSH, fig.6.3 şi care rezultă din suma vectorială a curentului $\underline{I}^S_{dez_\Sigma}$ şi a curentului $\underline{I}^S_{dez_i}$ de pe circuitul cu defect:

Scanned with OKEN Scanner

$$\underline{I}^{d}_{dez_i} = \underline{I}^{S}_{dez_\Sigma} + \underline{I}^{S}_{dez_i} = \frac{j\omega\,(C_{\Sigma 0} - 3C_{0i})\cdot \underline{U}_f}{1 + j\omega\, C_{\Sigma 0}\, R_D} \qquad (6.7)$$

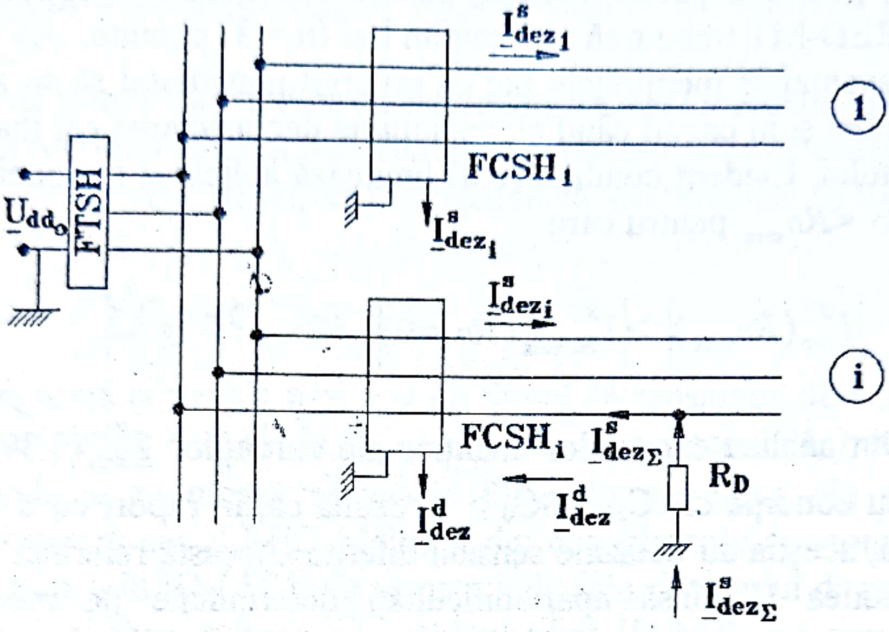


fig.6.3

Pe seama valorii celor două categorii de curenţi $\left(\underline{I}^{S}_{dez_i}, \underline{I}^{d}_{dez}\right)$, în sensul că, curentul de dezechilibru de pe circuitul cu defect este mai mare decât curenţii de pe distribuitorii sănătoşi, se poate utiliza criteriul maximului pentru localizarea circuitului cu defect. Aplicarea acestui criteriu este limitată de o serie de considerente şi anume:

- desensibilizarea faţă de oricare din curenţii $\underline{I}^{S}_{dez_i}$, ceea ce impune ca

$$\underline{I}^{d}_{dez\,min} > \underline{I}^{S}_{dez\,max} \qquad (6.8)$$

respectiv:

$$\sum_{1}^{n} C_{0i} > C_{0max} \qquad (6.9)$$

Acest aspect este cu atât mai dezavantajos cu cât RED-MT are unul din circuite cu lungime mult mai mare decât celelalte;

Scanned with OKEN Scanner

$$n\,C_0 - C_0 > C_0\,;\,(n-1) > 1 \qquad (6.10)$$

Deci pentru a putea localiza, pe criteriul maximului, circuitul cu defect RED-MT trebuie să aibă minim trei (n = 3) circuite.

Dezavantajele menționate fac ca criteriul maximului să se aplice în mod limitat și în cazuri când nu se impune deconectarea cât mai rapidă a defectului. Evident condiția (6.8) limitează aplicarea metodei și până la un $R_D < R_{D_{max}}$ pentru care

$$\left|\underline{I}^{d}_{dez}(R_{D_{max}})\right| \geq \left|\underline{I}^{S}_{dez\,max}(R_D = 0)\right| \qquad (6.11)$$

d) Din analiza expresiilor analitice ale curenților $\underline{I}^{S}_{dez\,i}$(5.39) și $\underline{I}^{d}_{dez}$ (6.7), cu condiția ca: $C_{\Sigma 0} - 3C_0 > 0$ rezultă că, în raport cu o referință comună, aceștia au defazaje sensibil diferite. Această referință ar putea fi tensiunea $\underline{U}_f$, însă apar dificultăți determinate de modificarea defazajului, în raport cu $\underline{U}_f$, în funcție de rezistența R_D și mai ales de faptul că $\underline{U}_f$ poate fi una din cele trei tensiuni de fază ($\underline{U}_R$, $\underline{U}_S$,$\underline{U}_T$). Un fapt pozitiv este însă acela că diferența dintre defazajele celor doi curenți nu este influențată de factorii evidențiați mai înainte.

O altă referință poate fi tensiunea de secvență homopolară $\underline{U}_{dd_0}$.

Pe seama relațiilor (5.39) și (6.1), pe de o parte, rezultă:

$$\underline{I}^{S}_{dez\,i} = \frac{j3\omega C_{0_i}}{1 + j\omega C_{\Sigma 0} R_D} \cdot \left[-\underline{U}_{dd_0}(1 + j\omega C_{\Sigma 0} R_D)\right] = +j3\omega\, C_{0_i}\underline{U}_{dd_0} \qquad (6.12)$$

respectiv:

$$\varphi_{0S} = (\underline{U}_{dd_0}; \underline{I}^{S}_{dez\,i}) = \frac{\pi}{2} \qquad (6.13)$$

iar din (6.1) și (6.7) rezultă:

$$\underline{I}^{d}_{dez} = -j\omega\,(C_{\Sigma 0} - 3C_{0_i})\underline{U}_{dd_0} \qquad (6.14)$$

respectiv:

$$\varphi_{0d} = (\underline{U}_{dd_0}; \underline{I}^{d}_{dez}) = -\frac{\pi}{2} \qquad (6.15)$$

Scanned with OKEN Scanner

Din analiza relaţiilor (5.39), (6.1), (6.13), şi (6.15) rezultă că deşi valorile curenţilor $\underline{I}_{dez}^{S,d}$ şi ale tensiunii $\underline{U}_{dd0}$ se modifică în funcţie de rezistenţa R_D, defazajele φ_{0S} şi φ_{0d} nu depind de valoarea acestei rezistenţe.

Diferenţa semnificativă dintre cele două defazaje (π radiani) permite aplicarea criteriului direcţional. Limitarea aplicării acestui criteriu, în RED-MT cu neutrul izolat, este determinată de condiţia (6.9), care acum devine:

$$\sum_{1}^{n} C_{0_i} - C_{0_i} > 0 \qquad (6.16)$$

ce este asigurată şi pentru n = 2 şi de faptul că tensiunea de referinţă $\underline{U}_{dd_0}$, ce se obţine numai de la un FTSH, este accesibilă numai în ID-MT unde se montează asemenea filtre. In principiu, ele se pot monta în orice punct al RED-MT însă din considerente economice se montează numai în ID-MT şi ca urmare aplicarea criteriului direcţional homopolar se face numai pe capătul din ID-MT al circuitelor (distribuitorilor).

Un alt aspect, calitativ, ce trebuie evidenţiat este cel legat de aproximaţia ($g_{0f} = 0$) pe seama căreia a rezultat pentru φ_{0S} şi φ_{0d} valorile de $\pm\pi/2$ radiani.

Pentru diferite tipuri de LEC şi LEA, în [43] sau calculat valorile exacte ale defazajelor φ_{0S} şi φ_{0d}; diferenţa dintre acestea diferă cu câteva grade faţă de valoarea de π radiani. Evident, la realizarea dispozitivelor cu care se va aplica criteriul direcţional homopolar va trebui să se ţină cont de acest aspect.

6.1.2. Punerea monofazată la pământ în RED-MT cu neutrul compensat.

Aşa cum s-a arătat în subcap 5.1, se procedează la compensarea unei reţele în cazul în care aceasta are un curent capacitiv $\underline{I}_{dez\Sigma}$(5.41) a cărui valoare depăşeşte anumite limite [14; 23; 43]. Prin introducerea

Scanned with OKEN Scanner

admitanței $Y_N = \frac{1}{R_N} - j\frac{1}{\omega L_N}$, fig.5.13, între neutrul sistemului electric trifazat al RED-MT și pământ, nu este afectată circulația curenților de încărcare capacitivă din rețea astfel că aceasta este identică cu cea din cazul neutrului izolat (parag.6.1.1).

Însă, pe faza cu defect, între barele ID-MT și locul cu defect, peste curentul $\underline{I}_{dez\Sigma}$, se suprapune curentul $\underline{I}_L$, din circuitul bobinei (Y_N). Ca urmare, pe de o parte, curentul pe faza cu defect $\underline{I}_{K_R}$ (5.50) are valori mici, comparabile cu cele ale curenților de dezechilibru ($\underline{I}^S_{dez}$) de pe circuitele fără defect, iar pe de altă parte, curentul de dezechilibru $\underline{I}^d_{dez}$, fig.6.4, de pe circuitul cu defect, măsurat cu FCSH, ca rezultantă a sumei vectoriale:

$$\underline{I}^d_{dez} = \underline{I}^S_{dez\,\Sigma} + \underline{I}_L + \underline{I}^S_{dez\,i} \qquad (6.17)$$

are deasemeni valori mici și sensuri de circulație determinate de valoarea curentului $\underline{I}_L$, respectiv nivelul de dezacord (v) al bobinei.

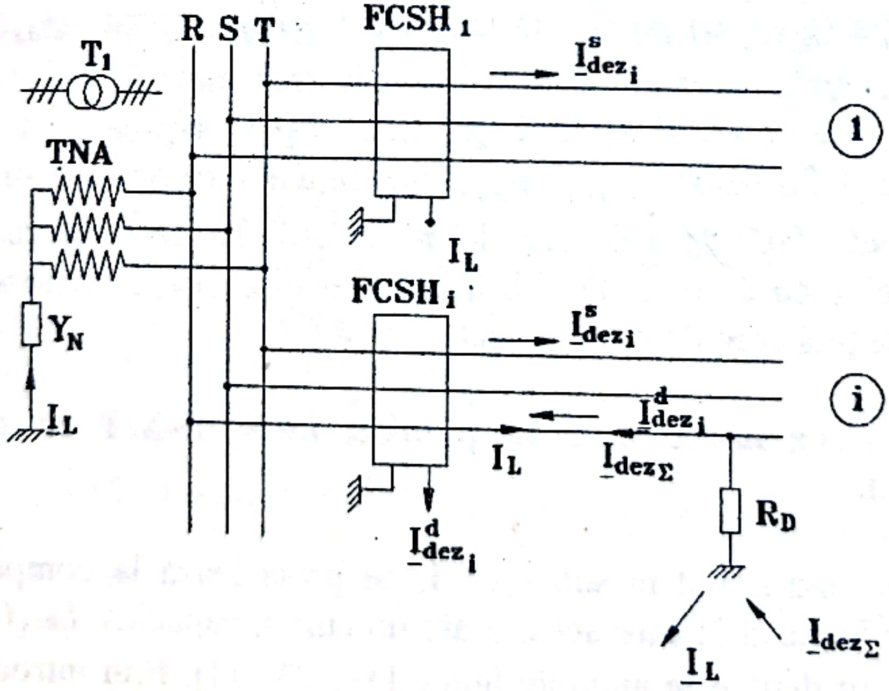


fig.6.4

Deci toate caracteristicile regimului de punere monofazată la pământ în RED-MT cu neutrul izolat, prezentate în paragraf.6.1.1, sunt valabile şi în cazul RED-MT cu neutrul compensat, cu o singură excepţie: curentul de dezechilibru de pe circuitul cu defect $\underline{I}^{d}_{dez}$ (6.17).

Să analizăm, în continuare fazorul $\underline{I}^{d}_{dez}$ în funcţie de nivelul de compensare al reţelei.

Pe seama expresiei analitice a impedanţei de secvenţă homopolară (5.47) în cazul RED-MT cu neutrul compensat, a expresiei analitice a curentului de dezechilibru $\underline{I}^{S}_{dez}$, (5.39) şi a relaţiei (5.49), relaţia (6.17) devine:

$$\underline{I}^{d}_{dez\,Ri} = \underline{U}_R \left[\frac{3}{3R_D + Z_0} \right] - \underline{U}_R \frac{3j\omega C_{0i}}{1 + j\omega C_{\Sigma 0} \cdot R_D} \qquad (6.18)$$

sau, neglijând Z_0^{TL} şi considerând $g_{0f} = 0$; $g_N = \frac{1}{R_N} = 0$ şi $R_D = 0$, rezultă:

$$\underline{I}^{d}_{dez\,Ri} = \underline{U}_R \left[j\omega C_{0\Sigma} - j\frac{1}{\omega L_N} \right] - \underline{U}_R \cdot j3\omega C_{0i} \qquad (6.18)'$$

respectiv, considerând $C_{\Sigma 0} = 3 \cdot nC_0$,

$$\underline{I}^{d}_{dez\,Ri} = \underline{U}_R \left[j3(n-1)C_0 - j\frac{1}{\omega L_N} \right] \qquad (6.19)$$

Pe seama relaţiei (5.51), pentru $R_D = 0$ şi considerând $g_0 \neq 0$ şi $g_N \neq 0$:relaţia (6.19) devine:

$$\underline{I}^{d}_{dez\,Ri} = -\underline{U}_{dd_{LR}} \left\{ (n-1)g_0 + g_N + j\left[(n-1)\omega C_0 - \frac{1}{\omega L_N} \right] \right\} \qquad (6.20)$$

Scanned with OKEN Scanner

Se poate defini, în conformitate cu relaţia (5.1) o impedanţă echivalentă de secvenţă homopolară, proprie RED-MT cu neutrul compensat(Z_{0_L}), în raport cu circuitul cu defect:

$$Z_{0_L} = \frac{\underline{U}_0}{\underline{I}_0} = \frac{\underline{U}_{dd_{LR}}}{\underline{I}^d_{dez\,Ri}} = [(n-1)g_0 + g_N] + j\left[(n-1)\omega C_0 - \frac{1}{\omega L_N}\right] \quad (6.21)$$

In fig. 6.5, în conformitate cu relaţia (6.20), adoptând ca referinţă fazorul $\underline{U}_{dd_{LR}} = 3\underline{U}_{0R} = -\underline{U}_R$, sau reprezentat componentele curentului $\underline{I}^d_{dez\,Ri}$.

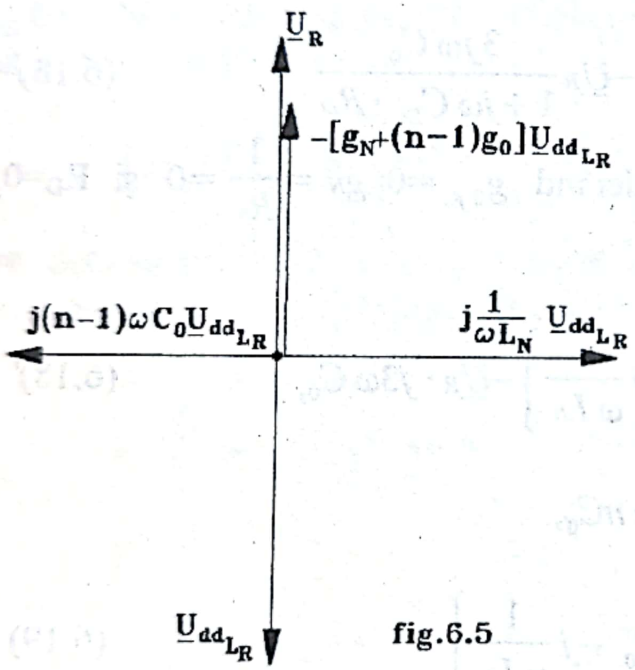


fig.6.5

Urmărind posibilitatea aplicării criteriului direcţional homopolar, prezentat în parag.6.1.1, este necesar să se definească defazajul φ_{dL} dintre tensiunea de secvenţă homopolară $\underline{U}_{dd_L}$ şi curentul de dezechilibru $\underline{I}^d_{dez\,i}$, respectiv argumentul impedanţei Z_{0_L} (6.21).

$$\varphi_{dL} = arctg\left[\frac{(n-1)\omega C_0 - \frac{1}{\omega L_N}}{(n-1)g_0 + g_N}\right] \quad (6.22)$$

Deoarece, întotdeauna $g_N + (n-1)g_0 > 0$, valoarea defazajului φ_{dL} va fi determinată, în principal, de numărătorul expresiei (6.22) şi evident, nu depinde de faza cu defect.

Scanned with OKEN Scanner

Considerând, teoretic, că $L_N \in (0;\infty)$ rezultă următoarele valori caracteristice pentru curentul $\underline{I}^d_{dez}$ şi defazajul φ_{dL}:

a) $L_N = 0$, $v < 0$, regim supracompensat; fig.6.6a:

$$\left|\underline{I}^d_{dez}\right| \cong \frac{U_R}{\omega L_N} >> \left|\underline{I}_{dez\Sigma}\right| \quad ; \quad \varphi_{dL} \cong \frac{\pi}{2} \tag{6.23}$$

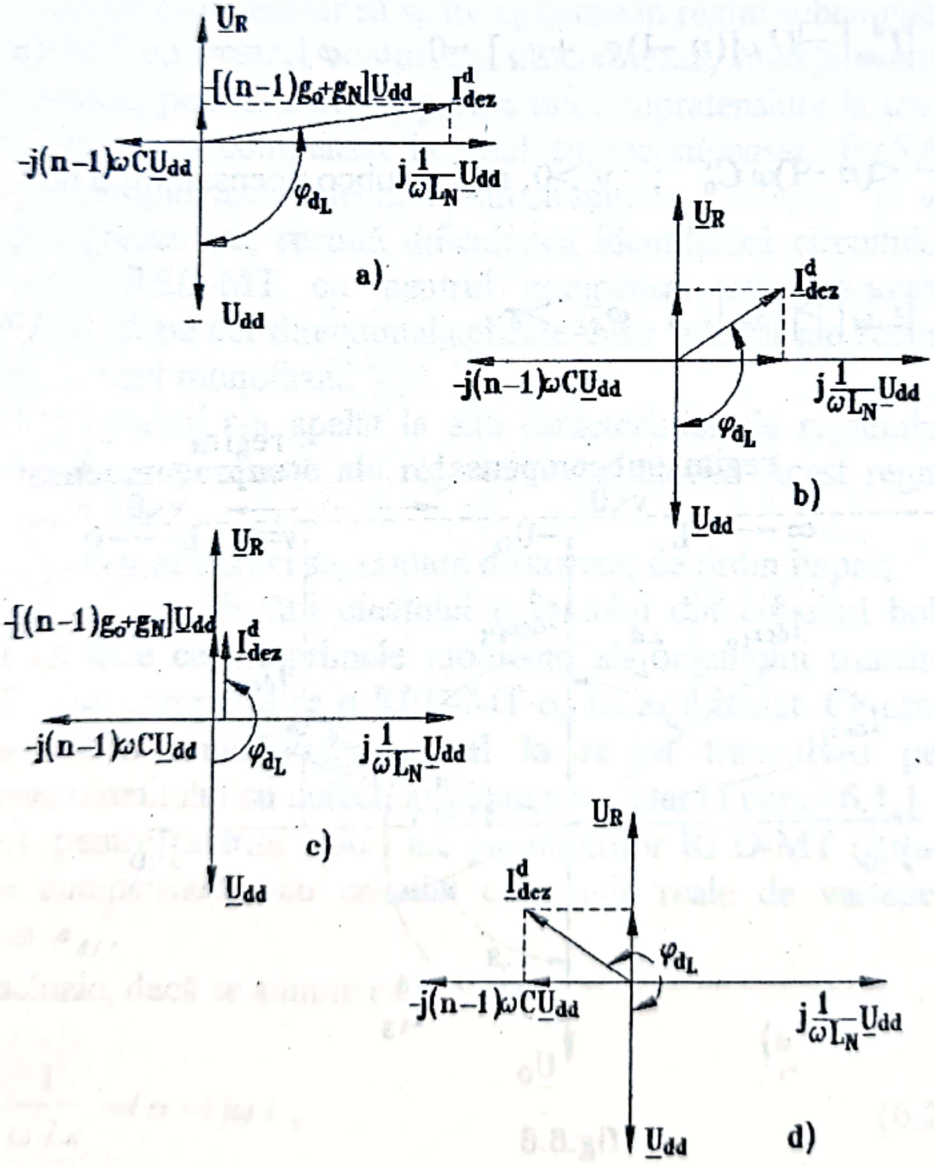


fig.6.6

Scanned with OKEN Scanner

b) $\frac{1}{\omega L_N} = n\omega C_0$, v = 0, acord la rezonanță, fig.6.6.b:

$$\left|\underline{I}^d_{dez\,i}\right| \cong \left|\underline{I}^S_{dez\,i}\right| \quad ; \quad \varphi_{dL} = \pi - arctg \frac{\omega C_0}{g_N + (n-1)g_0} \tag{6.24}$$

c) $\frac{1}{\omega L_N} = (n-1)\omega C_0$, $\nu > 0$, regim subcompensat, fig.6.6c:

$$\left|\underline{I}^d_{dez}\right| = \left|\underline{U}_{dd}[(n-1)g_0 + g_N]\right| \approx 0 \quad ; \quad \varphi_{dL} = \pi \tag{6.25}$$

d) $\frac{1}{\omega L_N} < (n-1)\omega C_0$; $\nu > 0$, regim subcompensat, fig.6.6d:

$$\left|\underline{I}^d_{dez}\right| > \left|\underline{I}^S_{dez\,i}\right| \quad ; \quad \varphi_{dL} > \pi \tag{6.26}$$

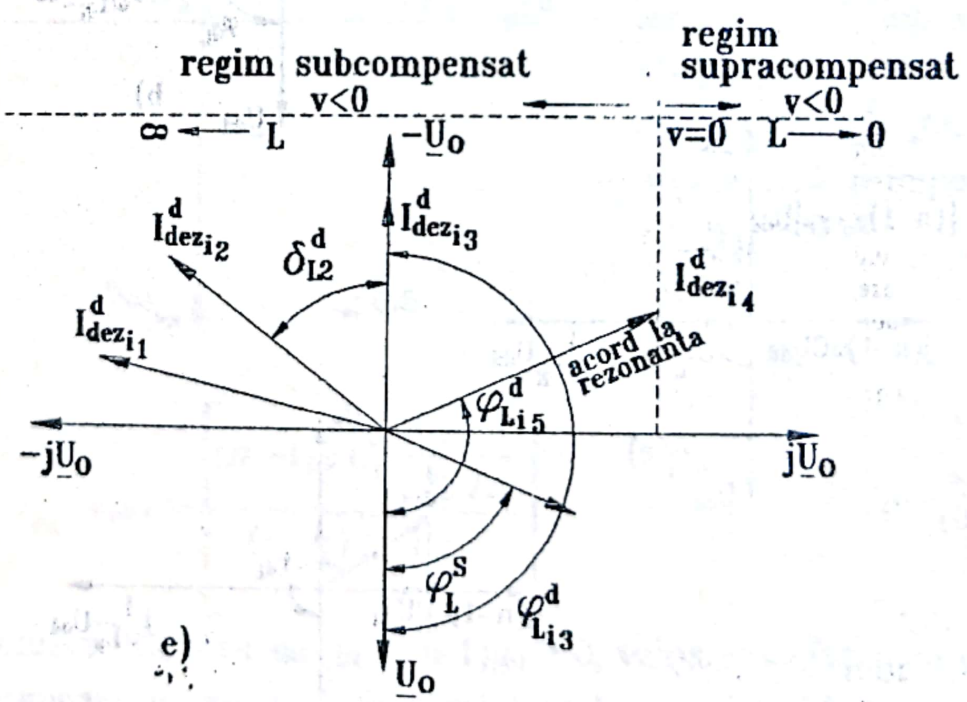


fig.6.6

Scanned with OKEN Scanner

Din analiza expresiilor analitice ale curenţilor $\underline{I}^{s}_{dez\,i}$ (6.12), $\underline{I}^{d}_{dez}$ (6.20; 6.23÷6.26) rezultă că aplicarea principiului maximal pentru identificarea circuitului cu defect, în RED-MT cu neutrul compensat nu este posibil, în ipoteza funcţionării la nivele de dezacord mici (v≈0).

Cât priveşte aplicarea circuitului direcţional, din expresia analitică (6.22) şi (6.23÷6.26) rezultă că defazajul dintre $\underline{U}_{dd}$ şi $\underline{I}^{d}_{dez}$ poate lua valori în limite foarte mari în funcţie de nivelul de compensare.

Pentru ca diferenţa dintre defazajele φ_{dL} şi φ_{0S} (6.13) să fie de cel puţin π/2 radiani este necesar să se funcţioneze în regim subcompensat. Insă, RED-MT cu neutrul compensat funcţionează, în regim normal, supracompensat, pentru a evita apariţia unor supratensiuni la trecerea de la un regim subcompensat la unul supracompensat, fig.5.6, ca urmare, de exemplu, a deconectării unui circuit.

Din cele prezentate, rezultă dificultatea identificării circuitului cu defect într-o RED-MT cu neutrul compensat atât pe criteriul maximului cât şi pe cel direcţional,aplicate unor mărimi ale regimului stabilizat de defect monofazat.

In aceste condiţii s-a apelat la alte caracteristici ale regimului de defect monofazat şi anume ale regimului tranzitoriu. Acest regim se caracterizează prin:

- apariţia unor armonici superioare de curent, de ordin impar;
- întârzierea manifestării efectului curentului din circuitul bobinei ($\underline{I}_L$) ceea ce face ca, în primele momente ale regimului tranzitoriu, RED-MT să se comporte ca o RED-MT cu neutrul izolat. Ca urmare, se poate aplica criteriul direcţional în regim tranzitoriu pentru identificarea circuitului cu defect, aşa cum s-a arătat în parag.6.1.1.

In [43], pentru diferite valori ale parametrilor RED-MT şi diferite nivele de compensare s-au calculat domeniile reale de variaţie ale defazajului φ_{dL}.

In concluzie, dacă se admite ca:

$$\frac{1}{\omega L_N} = (n-1)\omega C_0 \qquad (6.27)$$

Scanned with OKEN Scanner

atunci s-ar asigura condiţii pentru o funcţionare selectivă a protecţiilor funcţionând pe criteriul direcţional homopolar.

Este evident că identificarea existenţei punerii monofazate la pământ se poate asigura prin controlul tensiunii de deplasare a neutrului, $\underline{U}_{ddL}$(5.51) prin intermediul unui FTSH, fig.6.2; şi în acest caz, tensiunea de deplasare a neutrului depinde de valoarea rezistenţei R_D, însă se modifică între aceleaşi limite ($\underline{U}_R$ şi zero) ca şi în cazul RED-MT cu neutrul izolat (fig.6.1).

6.1.3 Defectul monofazat în RED-MT cu neutrul legat la pământ prin rezistenţă limitatoare.

Aşa cum s-a arătat în subparagraf 5.3.1.3, în RED-MT cu neutrul legat la pământ defectul monofazat reprezintă un scurtcircuit monofazat, curentul $\underline{I}_K$ (5.54) are valori mari, uşor de identificat prin intermediul unor FCSH, fig.6.7.

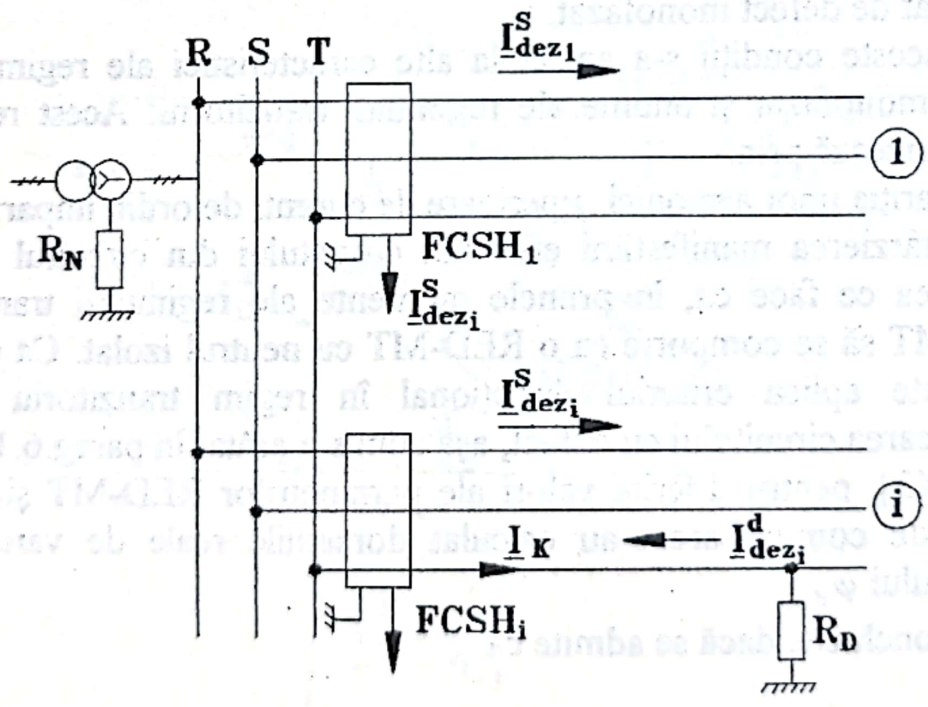


fig. 6.7

Scanned with OKEN Scanner

Utilizarea criteriului maximului asigură identificarea sigură a circuitului cu defect (5.55) deoarece:

$$\underline{I}_{KR} + \underline{I}^{S}_{dez} \gg \underline{I}^{S}_{dez} \tag{6.28}$$

Insă, curentul de scurtcircuit depinde în mare măsură de valoarea rezistenței de trecere la locul cu defect R_D. Dacă se impune pentru protecția maximală homopolară de curent o valoare de pornire I_p, atunci rezultă că aceasta poate identifica scurtcircuite prin rezistența R_D până la o valoare maxima $R_{D\,\lim}$ care rezultă [17] din (5.53), (neglijând Z_0^{TL}, Z_d, Z_i în raport cu $R_{D\,\max}$):

$$R_{D\,\lim} + R_N = \frac{\underline{U}_R}{\underline{I}_p} \tag{6.29}$$

Când $R_D > R_{D\,\lim}$, defectul monofazat se consideră punere monofazată la pământ prin rezistență de trecere mare [14]. Aceasta nu se mai poate identifica pe criteriul maximului şi ca urmare se aplică şi în acest caz, criteriul direcțional homopolar pentru identificarea circuitului cu o punere monofazată la pământ prin rezistență de trecere mare ($R_D > R_{D\,\lim}$).

Pentru a evidenția posibilitatea aplicării criteriului direcțional homopolar este necesar să se analizeze defazajul φ_{dR}, dintre tensiunea $\underline{U}_{ddR}$ (5.56) şi curentul de dezechilibru de pe circuitul cu defect $\underline{I}^{d}_{dez}$, care rezultă din suma vectorială, fig.6.7:

$$\underline{I}^{d}_{dez\,j} = \underline{I}_{KR} + \underline{I}^{S}_{dez\,j} \tag{6.30}$$

Considerând: $Z_0 = 1/Y_{0_f} + Y_N$ şi neglijând impedanțele Z_d, Z_i, pe seama (5.1) rezultă:

$$\underline{I}_{K_R} = \underline{U}_{ddR_R}(Y_{0_f} + Y_N) \tag{6.31}$$

Scanned with OKEN Scanner

unde: $Y_{0_f} = ng_0 + jn\omega C_0$

$$Y_N = \frac{1}{r_0^{TL} + 3R_N + j\omega L^{TL}} = g_N - jb_N = \frac{(r_0^{TL} + 3R_N) - j\omega L}{(r_0^{TL} + 3R_N)^2 + (\omega L^{TL})^2}$$

Inlocuind în (6.30) pe I_{K_R} cu expresia (6.31) şi pe $\underline{I}^S_{dez}$ cu relaţia (6.12) pentru $g_0 \neq 0$, rezultă:

$$-\underline{U}_{dd_R}\{[(n-1)g_0 + g_N] + j[(n-1)\omega C_0 - b_N]\} = \underline{I}^d_{dez} \qquad (6.32)$$

Ca urmare,aşa cum rezultă şi din fig.6.8, defazajul dintre tensiunea $\underline{U}_{dd_R}$ şi $\underline{I}^d_{dez}$, măsurat cu un FCSH, pe circuitul cu defect are expresia:

$$\varphi_{d_R} = arctg\frac{-[(n-1)\omega C_0 - b_N]}{-[(n-1)g_0 + g_N]} = \pi - arctg\left[\frac{b_N - (n-1)\omega C_0}{g_N + (n-1)g_0}\right] \qquad (6.33)$$

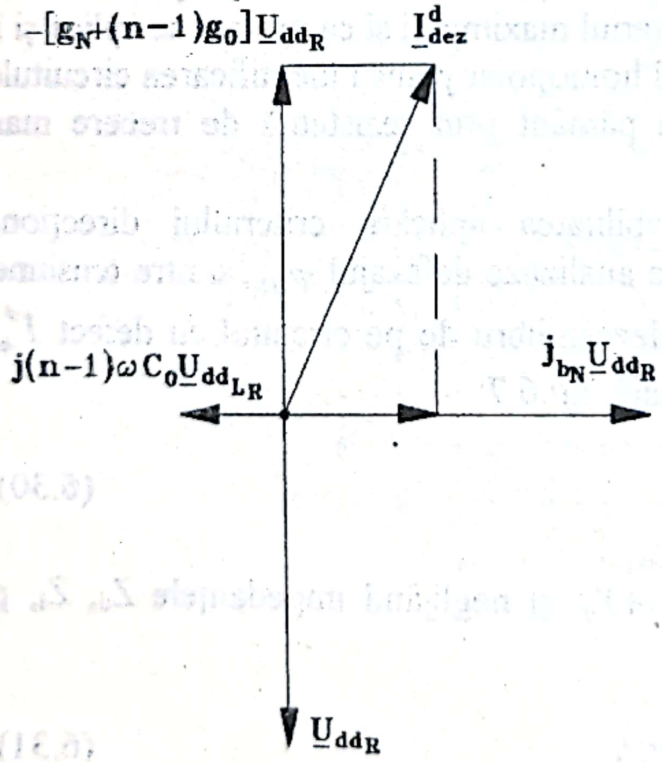


fig. 6.8

Deci defazajul φ_{d_R} tinde spre π, dacă aportul capacitiv al reţelei poate fi compensat de susceptanţa inductivă b_N a admitanţei Y_N.

Scanned with OKEN Scanner

Teoretic, dacă:

$$(n-1)\omega C_0 = \frac{\omega L^{TL}}{(r^{TL}+3R_N)^2+(\omega L^{TL})^2} \qquad (6.34)$$

atunci $\varphi_{dR} = \pi$.

In cazul în care între defazajele φ_{dR} şi φ_{0S} (6.13) există o diferenţă semnificativă se poate aplica criteriul direcţional homopolar pentru identificarea circuitului pe care s-a produs o punere monofazată la pământ prin rezistenţă de trecere mare.

In [43] s-au calculat valorile defazajului φ_{dR}, pentru diferite soluţii de realizare a RED-MT (LEA, LES) şi diferite valori ale rezistenţei R_N. Prin urmare, condiţiile de asigurare a selectivităţii criteriului direcţional homopolar sunt cu atât mai bune cu cât rezistenţa R_N şi curentul de încărcare capacitivă al reţelei sunt mai mari.

Cât priveşte tensiunea de deplasare a neutrului $\underline{U}_{dd_R}$(5.56), necesară, în mod deosebit pentru identificarea punerii monofazate la pământ prin rezistenţă de trecere mare (în [17] s-au determinat valorile rezistenţei $R_{D_{lim}}+R_N$ pentru diferite valori ale curentului de pornire (I_p) al protecţiei maximale homopolare şi sunt cuprinse între $R_{D_{lim}} \in (70 \div 300)\Omega$) aceasta, pentru $R_{D_{lim}} >> Z_d, Z_i, Z_0^{TL}$, conform (5.56) are, pentru acest caz expresia:

$$\underline{U}_{dd_R} \cong \frac{3\underline{U}_R(3R_N+Z_0^{TL})}{3R_D+3R_N} \cong -3\,\underline{U}_R\frac{R_N}{R_D} \qquad (6.35)$$

In condiţiile în care $R_D > R_{D_{lim}}$; $R_D >> R_N$ tensiunea $\underline{U}_{dd_R}$ are valori mici şi este practic în fază cu tensiunea de fază a fazei pusă la pământ.

Rezultă, aşa cum s-a precizat în paragraf.6.1.1 că este posibilă şi în acest caz adoptarea ca referinţă a tensiunilor de fază, ceea ce ar permite atât creşterea sensibilităţii cât şi identificarea şi a fazei cu defect.

In tab.6.1, pe seama celor prezentate în subcap.6.1, se prezintă o sinteză a metodelor folosite în asigurarea identificării şi localizării defectului monofazat în RED-MT.

Scanned with OKEN Scanner

Se constată posibilitățile limitate de localizare a tronsonului și a fazei pe care s-a produs un scurtcircuit și inexistența posibilităților de localizare a tronsonului și a fazei în cazul unei puneri monofazate la pământ.

Tab. 6.1

TIP REȚEA MT	NATURA OPERAȚIEI		TIPUL DE DEFECT	
			Scurtcircuite	punere la pamint
IZOLATA	Identificare		-maximala de curent si cu sectionare de curent	-maximala de tensiune -maximala homopolara -directionala de regim stabilizat
	Localizare	Distribuitor	IDEM	-maximala homopolara -directionala de regim stabilizat
		Tronson	-clapet de semnalizare	–
		Faza	-clapet de semnalizare	–
COMPENSATA	Identificare		-maximala de curent, temporizata si cu sectionare de curent	-maximala homopolara pe armonici superioare -directionala de regim tranzitoriu
	Localizare	Distribuitor	IDEM	IDEM
		Tronson	-clapet de semnalizare	–
		Faza	-clapet de semnalizare	–
LEGATA LA PAMINT prin R_N	Identificare		-maximala homopolara -maximala de curent si cu sectionare de curent	-control cadere de tensiune pe R_N -protectie homopolara directionala
	Localizare	Distribuitor	IDEM	-prin conectari,deconectari -protectie homopolara directionala
		Tronson	-clapet de semnalizare	–
		Faza	-clapet de semnalizare	–

Scanned with OKEN Scanner

6.2. METODE DE IDENTIFICARE A DEFECTULUI BIFAZAT.

Aşa cum se cunoaşte, din paragraf.5.3.2 defectul bifazat se împarte în trei categorii de defecte, fiecare cu unele caracteristici proprii.

6.2.1. Scurtcircuitul bifazat.

Indiferent de modul de tratare a neutrului, scurtcircuitul bifazat se caracterizează prin inexistenţa componentelor de curent de secvenţă homopolară (5.57) (5.62), prin valori mari ale curenţilor pe fazele cu defect (5.65) şi prin existenţa componentelor de curent de secvenţă inversă egale şi de sens opus cu cele de secvenţă directă (5.62); deasemeni se modifică sensibil şi sistemul trifazat de tensiuni.

Ca urmare, în prezent, pentru identificarea scurtcircuitului bifazat se poate folosi:

- criteriul maximului curentului, aplicat pe cel puţin două faze (protecţii maximale) (5.65); 5.66);
- controlul nesimetriei sistemului trifazat de curenţi prin filtre de curent de secvenţă inversă, care permit creşterea sensibilităţii protecţiilor maximale. In acest caz, conform (5.62) şi (5.65) curentul de secvenţă inversă este egal cu cel de secvenţă directă.

Evident, în funcţie de valoarea curentului de pornire al protecţiilor maximale, acestea identifică un scurtcircuit bifazat până la o anumită valoare a rezistenţei arcului $R_{a_{min}}$ (5.65; 5.66). Valoarea curentului de pornire poate fi redusă prin combinarea circuitului maximal cu filtre de curent de secvenţă inversă (FCSI) sau cu relee minimale de tensiune. Dacă $R_a > R_{a_{min}}$, defectul rămâne nesemnalat până în momentul în care, evoluând, $R_a < R_{a_{min}}$, respectiv curentul de pe cele două faze (5.66) şi (5.66') devine mai mare decât valoarea de pornire a protecţiilor maximale de curent (pentru $R_a >> Z_d, Z_i$):

$$|\underline{I}_{K_S}| = |\underline{I}_{K_T}| = \sqrt{3}\left|\frac{\underline{U}_R}{R_a}\right| \geq \sqrt{3}\left|\frac{\underline{U}_R}{R_{a_{min}}}\right| \qquad (6.36)$$

Scanned with OKEN Scanner

6.2.2. Scurtcircuit bifazat cu punere la pământ.

Din cele prezentate în subparagraf.5.3.2.2 rezultă că acest tip de defect este, prin mărimile ce-l caracterizează, o combinație între scurtcircuitul bifazat ($R_D=\infty$) şi dubla punere la pământ ($R_a \equiv R_D$; $R_D=0$), fiind influențat şi de modul de tratare a neutrului (Z_0). Ca urmare, metodele de identificare se bazează pe:

- valoarea mare a curentului pe fazele cu defect (5.80; 5.81) şi pe existența unui curent de dezechilibru (5.82) ce poate determina acționarea unei protecții maximale homopolare precum şi a unui curent de secvență inversă.

Pentru o RED-MT cu neutrul izolat, în regim de scurtcircuit bifazat cu punere la pământ, fig.6.9, $Z_0 = -jx_{\Sigma 0} >> Z_d, Z_i$ şi ca urmare din (5.77;

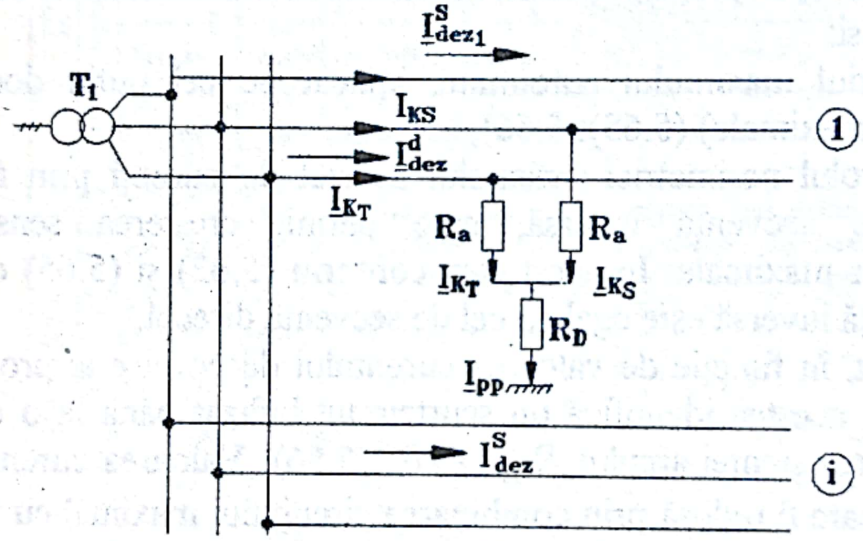


fig. 6.9

5.80; 5.81) rezultă:

$$\underline{I}_{K_S} = \frac{(a^2 - a)Z_0 + 3a^2 R_a + (a^2 - a)3R_D}{2Z_0 + 3R_a + 6R_D} \cdot \frac{\underline{U}_R}{R_a}$$

$$\underline{I}_{K_T} = \frac{(a - a^2)Z_0 + 3aR_a + (a - a^2)3R_D}{2Z_0 + 3R_a + 6R_D} \cdot \frac{\underline{U}_R}{R_a} \qquad (6.37)$$

Scanned with OKEN Scanner

şi

$$\underline{I}_{pp} = \frac{-3\underline{U}_R}{2Z_0 + 3R_a + 6R_D} = \frac{-\underline{U}_R}{R_a + 2R_D + \frac{3}{2}Z_0} \qquad (6.38)$$

Deci pentru aceeaşi valoare a rezistenţei R_a, curenţii de scurtcircuit de pe faze sunt mai mici decât în cazul scurtcircuitului bifazat (6.36), iar curentul de punere la pământ este mai mic decât în cazul punerii monofazate la pământ (5.29).

Curentul de dezechilibru de pe circuitele fără defect, din (5.85; 5.86; 5.87) şi (5.38) rezultă:

$$\underline{I}^{S}_{dez} = \frac{3\underline{U}_R \cdot j\omega\, C_0(Z_0 + R)}{2Z_0 + 3R_a + 6R_D} \qquad (6.39)$$

şi deci are deasemeni o valoare mai mică decât în cazul punerii monofazate la pământ (5.39), deoarece:

$$\left|\frac{Z_0}{Z_0 + 3R_D}\right| > \left|\frac{(Z_0 + R_a)}{2Z_0 + 3R_a + 6R_D}\right| \qquad (6.40)$$

In RED-MT cu neutrul legat la pământ prin rezistenţă limitatoare (R_N) Z_0 are expresia (5.52) şi are valori mai mici decât în cazul RED-MT cu neutrul izolat (5.35). Din cele de mai sus (6.37 ÷ 6.40) rezultă însă aceleaşi concluzii în ceea ce priveşte curenţii de dezechilibru de pe circuitele fără defect.

Componenta de curent de secvenţă inversă din (5.78) şi (5.77), în condiţiile simplificatoare menţionate, devine:

$$\underline{I}_{Ri}^{(1.1)} = \frac{Z_0 + R_a + 3R_D}{2Z_0 + 3R_a + 6R_D} \cdot \frac{\underline{U}_R}{R_a} = \frac{1}{2}\frac{\underline{U}_R}{R_a}\left[1 - \frac{R_a}{Z_0 + 1{,}5R_a + 3R_D}\right] \qquad (6.41)$$

In regim de scurtcircuit bifazat, pe seama (5.65) şi (5.62) curentul de secvenţă inversă are expresia:

Scanned with OKEN Scanner

$$\underline{I}_{K\,Ri}^{(2)} = \frac{\underline{U}_R}{R_a} > 2\,\underline{I}_{K\,Ri}^{(1,1)} \qquad (6.42)$$

Deoarece scurtcircuitul bifazat cu punere la pământ se caracterizează prin existența componentelor de secvență homopolară atât de curent (5.82) cât și de tensiune (5.75') este necesar să se evidențieze defazajul dintre acestea, pentru a analiza cum se poate aplica criteriul direcțional homopolar în acest caz.

Explicitând în expresiile analitice (5.75') și (5.82) curentul $\underline{I}_{K\,Rd}$ (5.77) și ținând seama de (5.76) rezultă:

$$\underline{U}_{K_0} = \frac{(Z_0 + R_a)}{Z_0 + R_a + 3R_D} \cdot \frac{(Z_i + R_a)(Z_0 + R_a + 3R_D)}{Z_i + Z_0 + 2R_a + 3R_D} \cdot \underline{I}_{K\,Rd} \qquad (6.43)$$

$$\underline{I}_{K_0} = \frac{Z_i + R_a}{(Z_i + Z_0 + 2R_a + 3R_D)} \cdot \underline{I}_{K\,Rd} \qquad (6.44)$$

Defazajul $\varphi_0^{(1,1)}$ dintre tensiunea $\underline{U}_{K_0}$ și curentul $\underline{I}_{K_0}$ va fi argumentul impedanței $Z_0^{(1.1)}$ obținută ca raport al celor două mărimi (6.43; 6.44):

$$Z_0^{(1.1)} = -(Z_0 + R_a) = \left|Z_0^{(1.1)}\right|^{\varphi_0^{(1.1)}} \qquad (6.45)$$

Se constată că acest defazaj depinde de valoarea rezistenței arcului dintre faze.

Pentru defectul monofazat, pe seama (5.35), (5.41) și (5.45), procedând ca mai sus, rezultă defazajul dintre $\underline{U}_{K_0}$ și $\underline{I}_{K_0}$ ca argument al impedanței Z_0.

Aceasta face ca să nu existe posibilitatea ca dispozitivul de protecție, bazat pe criteriul direcțional, prevăzut pentru un tip de defect să acționeze în cazul producerii celuilalt tip de defect.

Scanned with OKEN Scanner

In prezent, pentru identificarea şi localizarea defectului bifazat se aplică criteriul maximului curentului, pe două faze din trei, completată, când este necesară creşterea sensibilităţii, tot cu un criteriu maximal de curent de secvenţă inversă.

6.3. METODE DE IDENTIFICARE A SCURTCIRCUITULUI TRIFAZAT.

Din cele prezentate în paragraf.5.3.3 rezultă că acest tip de defect se caracterizează prin valori mari ale curenţilor pe fiecare din cele trei faze (5.91) care sunt mai mari decât fiecare din curenţii de scurtcircuit estimaţi anterior (5.53); (5.66); (5.66'; 5.80; 5.81), precum şi prin lipsa componentelor de secvenţă inversă şi homopolară (5.88; 5.91).

O caracteristică importantă o reprezintă menţinerea simetriei sistemului trifazat de tensiuni (5.89),(5.89') şi variaţia tensiunilor de fază şi de linie de la locul cu defect (5.92) până pe barele sursei (ID-MT).

Ca urmare, identificarea şi localizarea scurtcircuitului trifazat se poate asigura, în bune condiţii, aplicând criteriul maximului curentului de pe fiecare fază, sau al minimului tensiunii, în lungul unui circuit.

Pe lângă metodele prezentate de identificare a defectelor, pentru fiecare tip de defect, mai există două bazate pe criterii distincte. Unul dintre acestea este criteriul de identificare direcţional, aplicabil fie câte unui element concentrat al RED-MT (diferenţial longitudinal) fie la câte două elemente (diferenţial transversal). Cel de al doilea este cel al impedanţei bazat pe controlul valorii impedanţei unui circuit, aflat în aval; în unele situaţii impunându-se şi controlul argumentului aceleiaşi impedanţe.

Criteriul diferenţial longitudinal se bazează pe controlul valorii curentului la extremităţile unui element al RED (transformator, linie) fig.6.10.

Efectuând diferenţa curenţilor de la extremităţile elementului RED rezultă o valoare foarte diferită între situaţia în care nu există un defect în elementul respectiv, în raport cu cea în care există un defect.

Scanned with OKEN Scanner

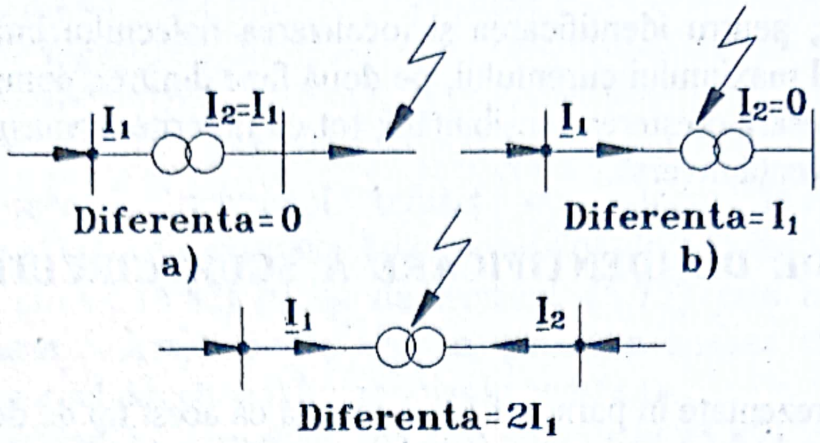


fig. 6.10

Curentul rezultat în urma efectuării diferenței poate acționa,pe criteriul maximului, un element de execuție.

Criteriul diferențial transversal controlează valoarea diferenței curenților de la extremitățile a două căi paralele de curent (linii) fig.6.11, valoare sensibil diferită în cazul unui defect pe una din cele două căi.

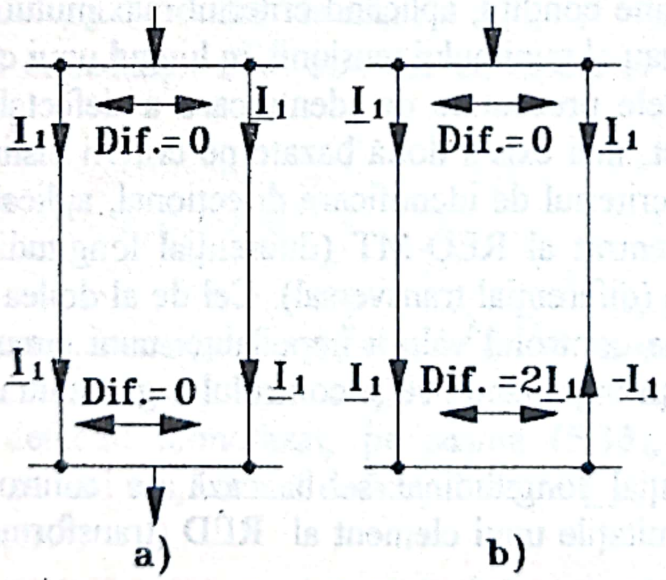


fig. 6.11

Evident, aplicarea acestui criteriu impune unele exigențe de exploatare, respectiv posibilități de deconectare a dispozitivului

protecţiei diferenţiale în cazul scoaterii voite de sub tensiune a uneia din cele două căi de curent.

Conform legii lui Ohm, valoarea curentului $\underline{I}$ printr-un circuit este determinată de valoarea tensiunii ($\underline{U}$) aplicate acestuia şi de impedanţa (Z) a respectivului circuit. Ca urmare, calculând raportul dintre tensiunea $\underline{U}$ şi curentul $\underline{I}$ se obţine valoarea impedanţei Z a circuitului fig.6.12, aflat în aval de locul unde se calculează acest raport. Este evident că acest raport este mult mai mare în regim normal:

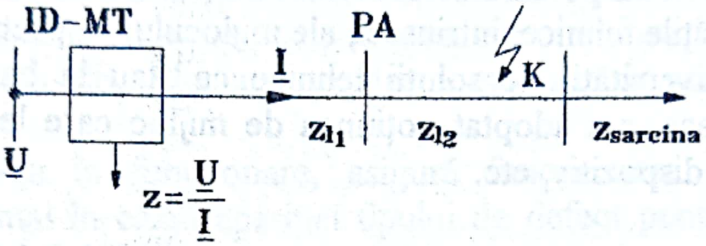


fig. 6.12

$$\frac{\underline{U}}{\underline{I}} = Z_n = Z_{l_1} + Z_{l_2} + Z_{sarcina} \qquad (6.46)$$

decât în cazul unui scurtcircuit (K, fig.6.22), când $\underline{U}_K < \underline{U}$ şi $\underline{I}_K > \underline{I}$:

$$\frac{\underline{U}_K}{\underline{I}_K} = Z_K \leq Z_{l_1} + Z_{l_2} << Z_n \qquad (6.47)$$

Pe acest considerent se poate identifica şi localiza un scurtcircuit respectiv, pe criteriul minimului impedanţei ($Z_K << Z_n$).

Deoarece impedanţa Z_K(6.47), fiind impedanţa unor linii electrice (Z_{l_1}, Z_{l_2}), este direct proporţională cu distanţa (L) până la locul cu defect ($Z_K = Z_{0_l} \cdot L$) acest criteriu se mai numeşte şi al distanţei (până la locul cu defect), permiţând estimarea distanţei (localizarea) până la locul cu defect.

Din analiza metodelor de identificare a defectelor, prezentate în acest capitol rezultă că cele bazate pe criteriul diferenţial şi al impedantei (distanţei) oferă cele mai sigure condiţii atât de identificare cât mai ales de localizare a defectului.

Scanned with OKEN Scanner

CAP.7. MIJLOACE ACTUALE DE OBSERVARE A DEFECTELOR IN RED-MT.

Pe seama mărimilor ce caracterizează regimurile de defect (cap.5) şi a metodelor ce permit identificarea existenţei acestora şi localizarea elementului de circuit în care s-a produs, s-au conceput, executat şi se utilizează mijloace tehnice de aplicare a lor.

Evident parametrii de calitate ai unui asemenea mijloc depind, pe de o parte, de metoda pe care se bazează funcţionarea lui, iar pe de altă parte, de calităţile tehnice, intrinseci, ale mijlocului respectiv.

Datorită diversităţii de soluţii tehnice ce stau la baza executării acestor mijloace, s-a adoptat noţiunea de mijloc care le cuprinde pe cele de releu, dispozitiv, etc.

7.1. PARAMETRII DE CALITATE AI MIJLOACELOR DE IDENTIFICARE.

Pe seama cerinţelor cu privire la calitatea energiei electrice furnizate consumatorilor [1; 19], mijloacele ce asigură identificarea existenţei unui defect trebuie, prin acţiunea lor, împreună cu cea a aparatelor de conectare, să deconecteze cât mai rapid elementul cu defect, să determine scoaterea de sub tensiune (pierderea alimentării) a unei zone cât mai restrânse, să acţioneze numai în cazul existenţei tipului de defect pentru care a fost conceput.

Ca urmare, pentru mijloacele de identificare şi localizare (denumite, în continuare, mai pe scurt, mijloace de protecţie), se definesc următorii parametri de calitate:

a) - rapiditatea, estimată prin intervalul de timp (t_d) în care, prin intermediul unui element de comutaţie, este deconectat elementul cu defect.

Acest interval de timp are trei componente şi anume:

$$t_d = t_{MP} + t_{a_{AC}} + \Delta t_{temp.} \qquad (7.1)$$

unde: - t_{MP} este timpul propriul al mijlocului de protecţie;

- $t_{a_{AC}}$ este timpul de acţionare al aparatului de conectare pe care îl comandă (fig.7.1);

- Δt_{temp} este un timp introdus suplimentar (releu de temporizare) în scopul asigurării unui alt parametru de calitate - selectivitatea.

Limitele între care poate fi cuprins t_d sunt:

$$t_{select} < t_d < t_{st} \qquad (7.2)$$

unde:

- t_{st} rezultă din condiţia de stabilitate termică a căilor de curent;
- t_{select} rezultă din condiţia de asigurare a unei funcţionări selective a unui ansamblu de mijloace de protecţie parcurse de acelaşi curent de defect.

b) - siguranţa în funcţionare, asigură funcţionarea mijlocului de protecţie numai în cazul apariţiei tipului de defect pentru care a fost conceput şi reglat să acţioneze (siguranţa în funcţionare), respectiv neacţionarea lui în regim normal de funcţionare sau în cazul unui alt tip de defect (siguranţa în neacţionare);

Pentru a asigura neacţionarea (desensibilizarea) în regim normal valoarea mărimii de pornire a mijloacelor de protectie ($X_{p_{MP}}$) se stabileşte astfel:

$$X_{p_{MP}} = K_{sig}\, X_n \qquad (7.3)$$

unde: - K_{sig} este un coeficient de siguranţă a cărui valoare se stabileşte în funcţie de tipul defectului şi a metodei ce stă la baza funcţionării acestuia;

- X_n este valoarea nominală sau de suprasarcină a mărimii ce se controlează.

Neacţionarea la alt tip de defect este asigurată, la nivelul metodei de protecţie folosite sau prin combinarea într-o schemă logică, a mai multor dispozitive ce controlează şi alte mărimi (tensiuni, mărimi de diferite secvenţe sau armonici, defazaje, etc.) proprii regimului de defect.

c) - sensibilitatea se evidenţiază prin raportul (K_{sens}) dintre cea mai mică valoare (X_{min}) a mărimii ce se controlează şi care trebuie să determine acţionarea mijlocului de protecţie şi valoarea de pornire (7.3);

Scanned with OKEN Scanner

$$K_{sens} = \frac{X_{min}}{X_{p_{MP}}} > 1 \qquad (7.4)$$

Valoarea acestui coeficient se stabileşte pentru fiecare tip de defect şi dispozitiv în parte. Imbunătăţirea coeficientului de sensibilitate se poate obţine prin combinarea, într-o schemă logică, şi a altor dispozitive ce controlează şi alte mărimi proprii regimului de defect respectiv.

d) - selectivitatea este un parametru de calitate ce se referă la un ansamblu de mijloace de protecţie aferente unei configuraţii de reţea electrică, pentru care, într-un regim de defect, există condiţii să acţioneze; însă din cerinţa de asigurare a continuităţii în alimentare şi a localizării elementului cu defect, trebuie să acţioneze numai unul, sau numai un anumit număr, limitat, de mijloace de protecţie.

Pentru o schemă de distribuţie radială într-o formă mai simplificată, fig.7.1, în cazul producerii unui defect în punctul K, mijloacele de protecţie MP_1 şi MP_4 sunt expuse practic aceloraşi mărimi şi ca urmare există condiţii să acţioneze amândouă. Dacă ar acţiona însă MP_1 atunci, prin acţionarea aparatului de conectare I_1, s-ar deconecta nejustificat şi consumatorii alimentaţi prin I_2 şi I_3.

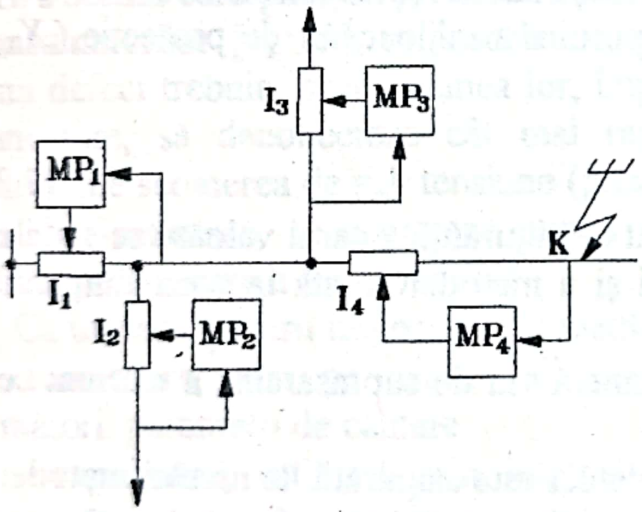


fig. 7.1

Funcţionarea selectivă a mijloacelor de protecţie (MP), aferente unei scheme date, trebuie să asigure scoaterea de sub tensiune, în cazul unui defect, a unei zone cât mai restrânse a acesteia, respectiv pentru cazul din fig.7.1, acţionarea numai a aparatului de conectare I_4 de către MP_4.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru RED-MT, cu schema radială, funcţionarea selectivă se asigură de regulă prin temporizări, Δt_{temp} (7.1), a căror valoare creşte pe măsură ce ne apropiem de sursă ceea ce este în contradicţie cu cerinţa ce determină rapiditatea acţionării unui mijloc de protecţie. Cu cât defectul se produce mai aproape de sursă curentul de defect este mai mare, solicitarea termică este mai mare şi ca urmare deconectarea ar trebui să se producă mai rapid.

Asigurarea funcţionării selective este necesară în cazul mijloacelor de protecţie ce funcţionează pe criteriul maximului, în timp ce criteriul diferenţial este prin natura sa absolut selectiv.

Pe lângă temporizare, o altă posibilitate de asigurare a selectivităţii o constituie utilizarea criteriului direcţional, fie singular (protecţii homopolare direcţionale) fie asociate cu criteriul maximului.

7.2. TIPURI DE MIJLOACE DE PROTECŢIE.

Aşa cum se cunoaşte (cap.5), datorită celor trei soluţii de tratare a neutrului RED-MT (subcap.5.1) rezultă o gamă largă de regimuri de funcţionare a acestor reţele, atât pentru regimul normal cât şi pentru cel de defect. Consecinţa firească a acestei particularităţi o constituie gama largă de mijloace de identificare a defectelor în RED-MT.

Pe seama caracteristicilor regimurilor de defect (subcap.5.3) şi a metodelor de identificare prezentate în cap.6, în continuare se vor prezenta mijloacele actuale care asigură protecţia RED-MT pentru fiecare regim de defect. In [44] se indică în mod explicit ce tip de mijloc de protecţie se foloseşte în prezent în fiecare RED-MT.

Aşa cum s-a mai precizat, necesităţile de identificare şi localizare a unui defect depind şi de configuraţia RED-MT. In fig.7.2 este reprezentată schema clasică a unei RED-MT cu doi distribuitori (1,2) alimentaţi dintr-o instalaţie de distribuţie de medie tensiune (ID-MT) a unei staţii de transformare şi care se pot constitui şi într-un inel.

Pentru o asemenea structură a distribuitorului, indiferent de mijloacele de protecţie utilizate, aşa cum s-a arătat şi în paragraf.4.2.2, atât timp cât ele vor acţiona numai asupra unui singur aparat de

Scanned with OKEN Scanner

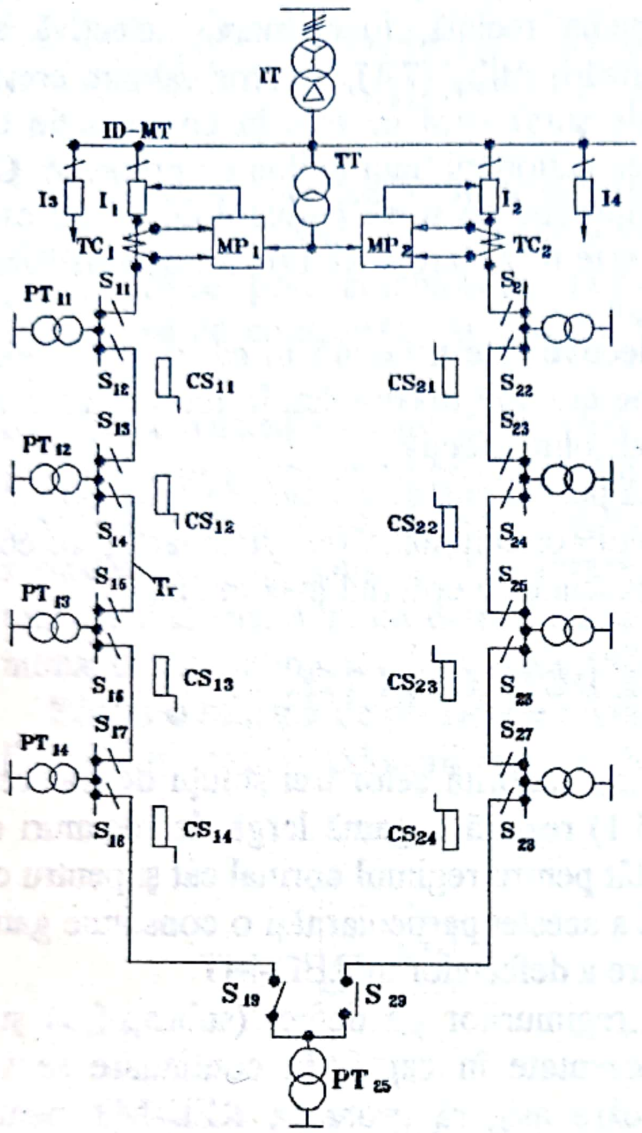


fig. 7.2

comutație, nu se pune problema unei acționări selective și a localizării rapide a unui defect de pe un tronson (Tr) din lungul distribuitorului.

Deci pentru o RED-MT, cu configurația din fig.7.2, la apariția unui defect într-un punct K al unui tronson (Tr) de pe un distribuitor, mijloacele de protecție trebuie să identifice existența defectului, să localizeze distribuitorul cu defect și să-l deconecteze prin intermediul aparatului de comutație (I) și să permită prin lecturarea acestora și localizarea tronsonului (Tr) pe care s-a produs defectul.

Identificarea existenței defectului, localizarea și deconectarea distribuitorului se asigură prin MP montate în ID-MT, global și pe capătul fiecărui distribuitor fig.7.2.

Localizarea tronsonului Tr pe care s-a produs un defect se poate efectua, în principiu astfel:

- cu un mijloc de localizare montat în RED-MT pe capătul distribuitorului și care determină distanța până la locul cu defect prin măsurarea impedanței din aval de locul său de montare; acest mijloc, costisitor, nu se foloseşte în RED-MT;
- cu mjloace de localizare montate pe capătul dinspre sursă al fiecărui tronson și care acționează fie pe criteriul maximului (clapeți de

Scanned with OKEN Scanner

semnalizare CS, fig.7.2 sau indicatori de scurtcircuit, în fapt relee maximale de curent) aceasta fiind soluţia utilizată în prezent, fie pe criteriul minimului (relee minimale de tensiune).

Ambele soluţii sunt aplicabile numai regimurilor de defect caracterizate prin valori ale curentului şi tensiuni sensibil diferite de cele din regimul normal de funcţionare.

7.2.1.Mijloacele actuale pentru identificarea defectului monofazat.

Deoarece defectul monofazat are caracteristici diferite în funcţie de modul de tratare a neutrului, mijloacele de identificare sunt şi ele specifice fiecărui mod de tratare.

7.2.1.1. Reţele cu neutrul izolat.

Punerea monofazată la pământ în RED-MT cu neutrul izolat, în general, nu trebuie deconectată, însă cel puţin semnalizată [14; 52]. Fiind posibilă evoluţia defectului şi apariţia unor duble puneri la pământ, reducerea la (1÷3) sec a suprasolicitării fazelor sănătoase prin deconectare rapidă a punerii monofazate la pământ, are mari avantaje.

O problemă deosebită, a cărei rezolvare nu satisface în exploatare, o constituie sensibilitatea şi mai ales selectivitatea mijloacelor de protecţie în acest tip de reţele.

Soluţiile aplicate în RED-MT cu neutrul izolat pentru identificarea existenţei unei puneri la pământ şi localizarea distribuitorului pe care aceasta s-a produs se bazează pe:

- relee maximale de tensiune, acţionate de tensiunea de secvenţă homopolară (6.1) obţinută de la filtre de tensiune de secvenţă homopolară (fig.6.2; 6.3). Aceste relee, care practic identifică doar existenţa unei puneri monofazate la pământ, fiind absolut neselective, acţionează numai la semnalizare;
- relee maximale de curent, realizate cu un releu maximal de curent (RC2 - 0,2A) fig.7.3 acţionate de curentul I^d_{dez} (6.7), obţinut prin intermediul câte unui filtru de curent de secvenţă homopolară, fig.6.3; funcţionarea selectivă, respectiv localizarea distribuitorului cu defect

Scanned with OKEN Scanner

fiind asigurată de raportul (n-1), (6.10) existent între curentul de dezechilibru de pe distribuitorul cu defect (6.7) şi curenţii de dezechilibru de pe distribuitorii fără defect $\underline{I}^{S}_{dez}$ (6.12). Această soluţie se aplică cu rezultate bune în RED-MT în care curentul $I_{dez\,\Sigma} \geq 5\,A$ (5.41) şi $n \geq 3$. Dezavantajul major al acestui releu maximal de curent constă în sensibilitatea redusă, determinată de frecările în lagăre şi decalibrări în timp ale resortului care creează cuplul antagonist.

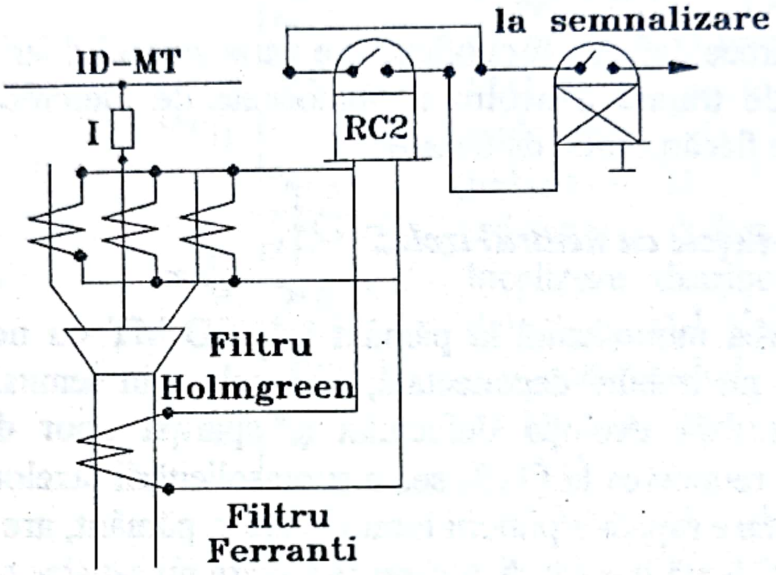


fig. 7.3

- relee direcţionale homopolare a căror funcţionare se bazează pe valorile diferite ale defazajelor dintre tensiunea de secvenţă homopolară $\underline{U}_{dd0}$ (6.1)(adoptată ca referinţă) şi curenţii de dezechilibru $\underline{I}^{S}_{dez}$ (6.12), φ_{0S} (6.13) pe de o parte şi curentul $\underline{I}^{d}_{dez}$ (6.7), φ_{0d} (6.15) pe de altă parte.

In RED-MT cu neutrul izolat diferenţa dintre aceste defazaje este de π radiani ceea ce oferă condiţii bune pentru asigurarea selectivităţii releelor direcţionale.

In România, se foloseşte releul direcţional RCC produs de ICEMENERG-Bucureşti a cărui schemă se prezintă în fig.7.4.Defazajele φ_{0S} şi φ_{0d} sunt controlate prin intermediul a două tensiuni $\underline{U}_U$ şi $\underline{U}_I$ care se obţin de la filtrele de curent şi de tensiune

Scanned with OKEN Scanner

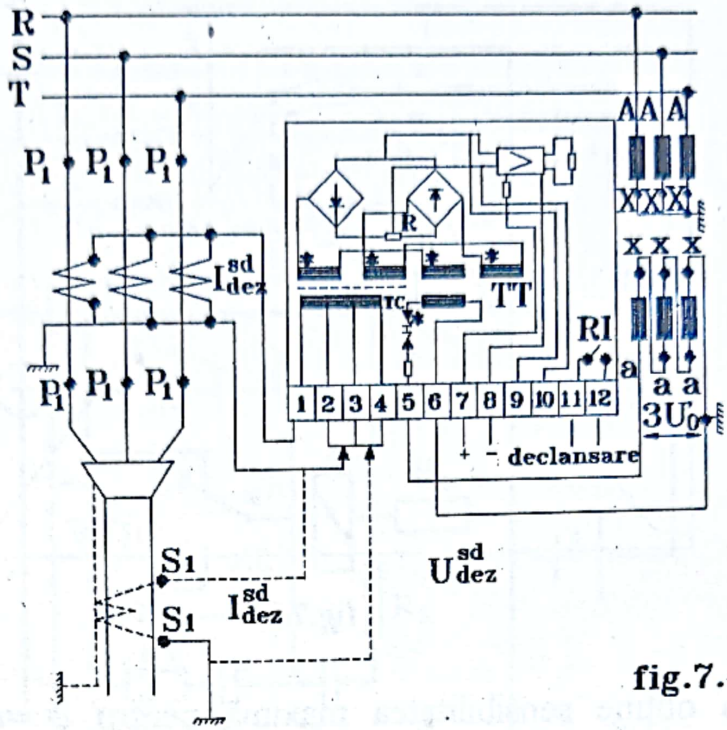


fig.7.4

homopolară. Prin formarea sumei ($\underline{U}_U + \underline{U}_I$) şi a diferenţei ($\underline{U}_U - \underline{U}_I$), calcularea modulului acestora cu ajutorul a două punţi redresoare şi efectuarea diferenţei dintre ele se obţine o mărime B care amplificată de un amplificator (A) va acţiona releul intermediar RI numai când semnul mărimii de intrare în A este pozitiv, în caz contrar RI va fi blocat.

Din expresia analitică a mărimii B:

$$B = |\underline{U}_U + \underline{U}_I| - |\underline{U}_U - \underline{U}_I| = \sqrt{U_U^2 + U_I^2 + 2U_U U_I \cos\varphi} - \sqrt{U_U^2 + U_I^2 - 2U_U U_I \cos\varphi} \qquad (7.5)$$

rezultă că mărimea B are valori pozitive când unghiul φ dintre $\underline{U}_U = K_U \underline{U}_0$ şi $\underline{U}_I = K_I \underline{I}_{dez}^{S,d}$ are valori cuprinse între $\left[\frac{\pi}{2} \div -\frac{\pi}{2}\right]$ şi negative în restul intervalului fig.7.5. Trecerea amplificatorului dintr-o stare în alta se face brusc (caracteristică tip releu). Aşa cum rezultă din (7.5) şi fig.7.5 sensibilitatea maximă a releului ($B=B_{max}$) se obţine când $\varphi=0$.

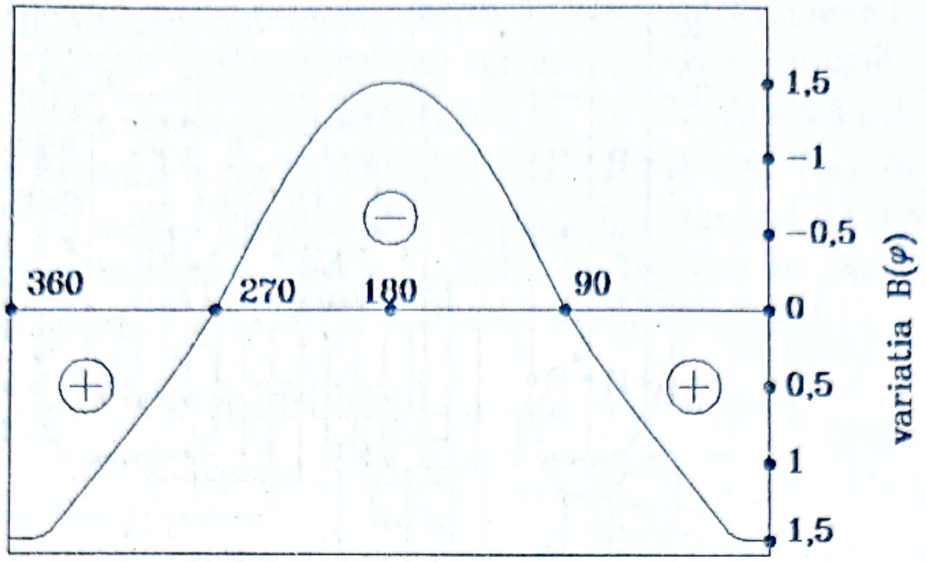


fig.7.5

Pentru a obține sensibilitatea maximă pentru $\varphi = \varphi_{0d} = \frac{\pi}{2}$ radiani (caracteristică varmetrică) trebuiesc introduse elemente suplimentare de defazare.

In fig.7.6 se prezintă schema releului direcțional homopolar GSS-11 produs în Ceho-Slovacia, care funcționează pe același principiu ca cel din fig.7.4.

Elementul principal al acestuia (EE) este un echipaj electrodinamic al cărui circuit statoric este conectat la tensiunea $\underline{U}_I$, iar cel rotoric la tensiunea $\underline{U}_U$. Existența celor două mărimi produce un cuplu de rotație care, în funcție de semnul puterii homopolare acționează sau nu contactul normal deschis (EE_{1-2}). Releul este prevăzut cu un element de măsură (A) a tensiunii $\underline{U}_{dd}$, dar care este conectat la aceasta numai dacă este acționat elementul EE. Deci acționarea releului GSS-11 este condiționată de existența unei tensiuni $\underline{U}_{dd} = 3\underline{U}_0$ cu o valoare mai mare decât o valoare prescrisă.

O tehnologie evoluată de control a defazajului dintre două mărimi ($\underline{I}_{dez}^{S,d}$) în raport cu o referință comună ($\underline{U}_0$) se bazează pe controlul valorii unei mărimi periodice în momentul în care mărimea de referință, de aceeași natură trece prin zero, fig.7.7. Dacă se testează valorile

Scanned with OKEN Scanner

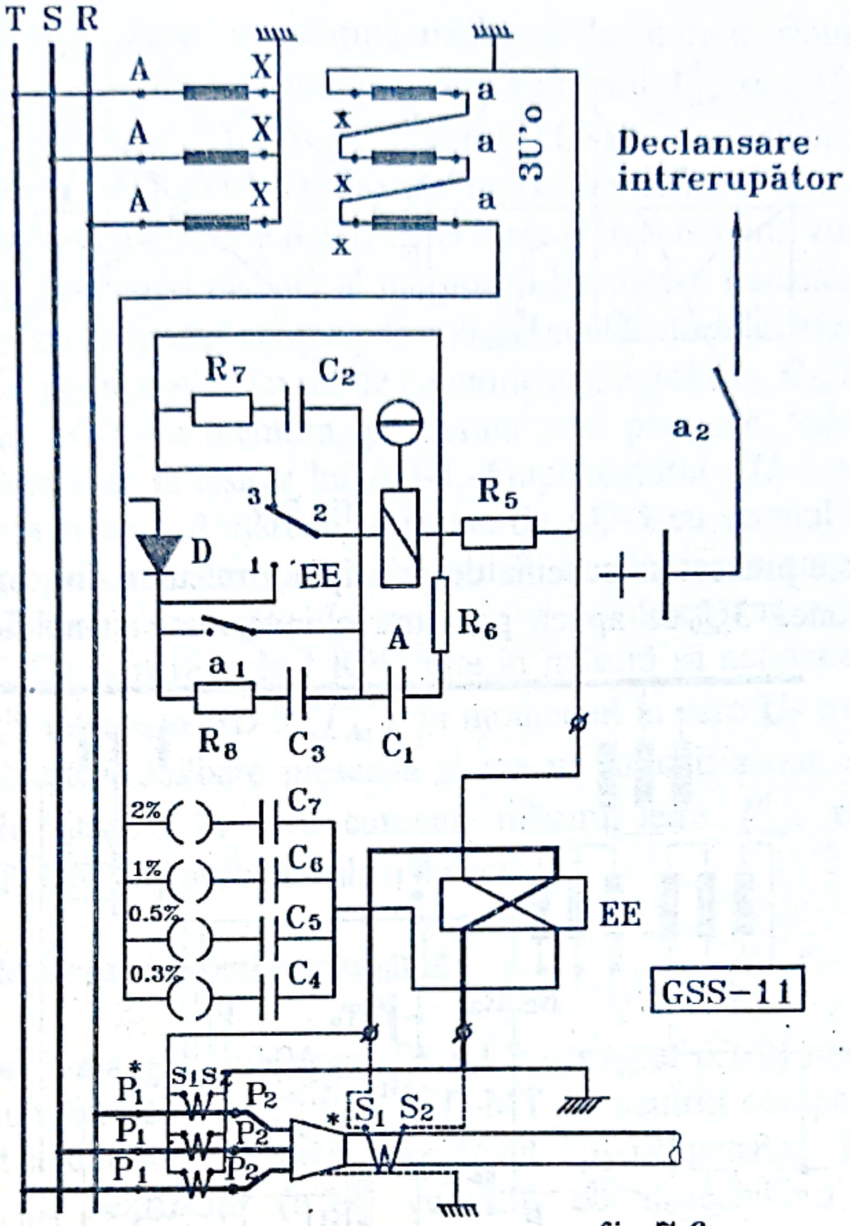


fig.7.6

mărimilor controlate, în momentul trecerii prin zero a mărimii ($\underline{U}_0$) de referință (din semiperioada pozitivă în cea negativă) se constată posibilitatea aplicării criteriului direcțional. Această soluție se aplică cu releul electronic homopolar RPH [40].

Mărimea şi semnul segmentului $\overline{bc}$ determină localizarea distribuitorului cu defect, iar segmentul $\overline{ba}$ distribuitorul fără defect. In

Scanned with OKEN Scanner

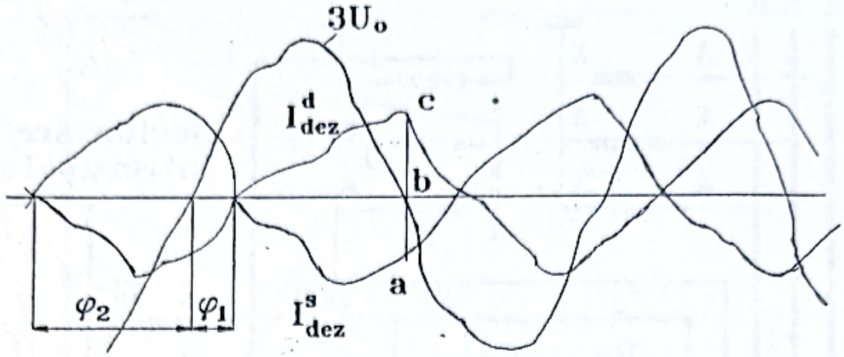


fig.7.7

fig.7.8 este prezentată schema de principiu a releului, din care rezultă că tensiunea $3\underline{U}_0$ se aplică pe intrarea inversoare a amplificatorului

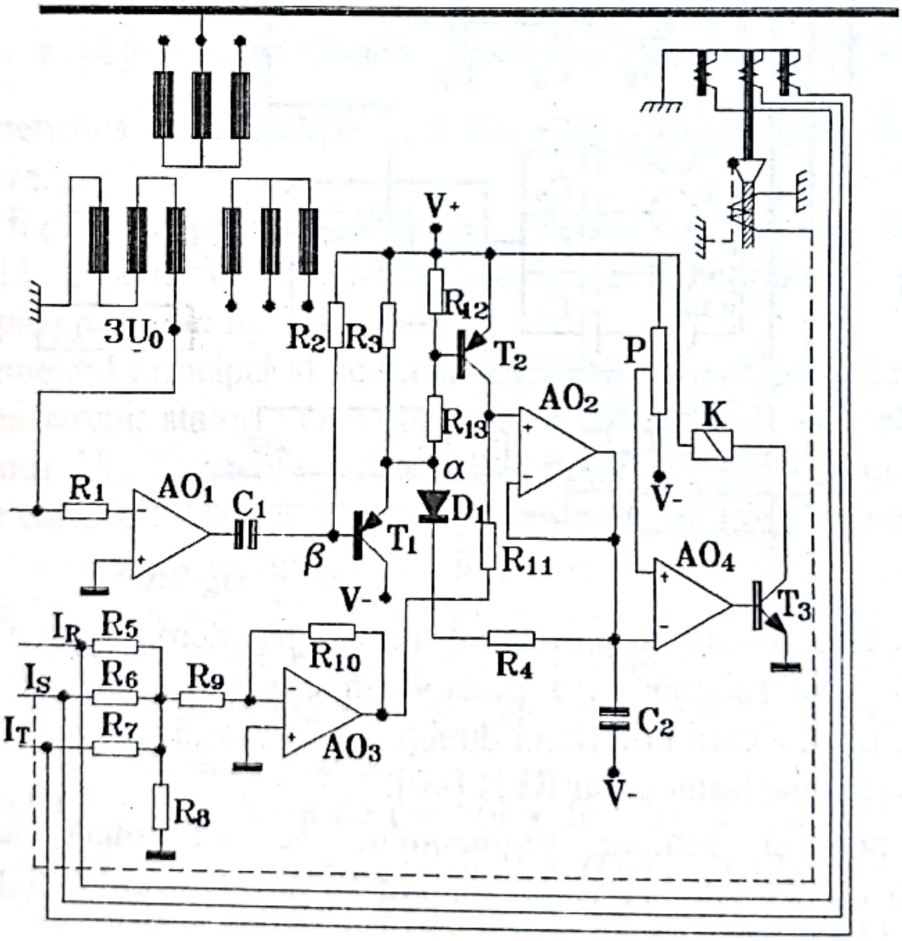


fig. 7.8

Scanned with OKEN Scanner

operațional AO_1, care transformă mărimea de intrare sinusoidală într-o mărime periodică dreptunghiulară. Curentul $\underline{I}^{S}_{dez}$ sau $\underline{I}^{d}_{dez}$ prin intermediul câte unui filtru de curent (FCSH), se aplică intrării neinversoare a AO - 3. Mărimea de ieşire din AO - 1 este trecută printr-un circuit de derivare R_2C_1, astfel încât la trecerea prin zona zero a mărimii ($\underline{U}_o$) frontul negativ al mărimii β blochează tranzistorul T_1. Mărimea α, de la ieşirea acestuia se aplică amplificatorului AO-2, care face parte dintr-un circuit cu rol de memorie analogică (T_2, C_2, R_4, D_1). Ca urmare, AO-2 va memora, pe durata unei perioade, valoarea şi semnul mărimii de la ieşirea lui AO-3. Amplificatorul AO-4 compară amplitudinea şi semnul mărimii furnizate de AO-3 cu semnul mărimii de referinţă prescrisă prin potentometrul P. La depăşirea amplitudinii prescrise T_3 trece în regim de saturaţie şi va determina acţionarea releului K. Ca urmare, releul RPH este în măsură să acţioneze, dacă mărimea de intrare în AO-3 ($\underline{I}^{S,d}_{dez}$), în momentul în care $\underline{U}_0$ trece prin zero, depăşeşte o valoare prescrisă şi are un anumit semn, ceea ce corespunde situaţiei în care curentul măsurat este $\underline{I}^{d}_{dez}$, respectiv releului RPH de pe distribuitorul cu defect.

7.2.1.2. Reţele cu neutrul compensat.

Aşa cum s-a arătat (subparagraf.5.3.1.2; paragraf 6.1.2) regimul de punere monofazată la pământ în RED-MT cu neutrul compensat are caracteristici diferite în funcţie de nivelul de compensare. In cazul acordului la rezonanţă (6.24) curentul de dezechilibru de pe distribuitorul cu defect, măsurat cu FCSH (6.20) are practic aceeaşi valoare şi acelaşi sens (dacă se neglijează conductanţele (g_0 şi g_N) cu cei de pe distribuitorii fără defect ($\underline{I}^{S}_{dez}$) şi ca urmare nu sunt asigurate condiţii pentru o funcţionare selectivă a protecţiilor maximale şi direcţionale homopolare de curent.

Dacă RED funcţionează în regim subcompensat (6.25) sunt asigurate condiţii pentru funcţionarea selectivă a mijloacelor de protecţie utilizate în RED-MT cu neutrul izolat, prezentate în paragraful anterior.

Scanned with OKEN Scanner

In cazul funcționării în regim supracompensat (6.26) nu se poate aplica criteriul direcțional homopolar.

In fig.7.9 este prezentată schema de principiu a releului direcțional homopolar GSS-11, utilizat în RED-MT perfect compensate şi cu

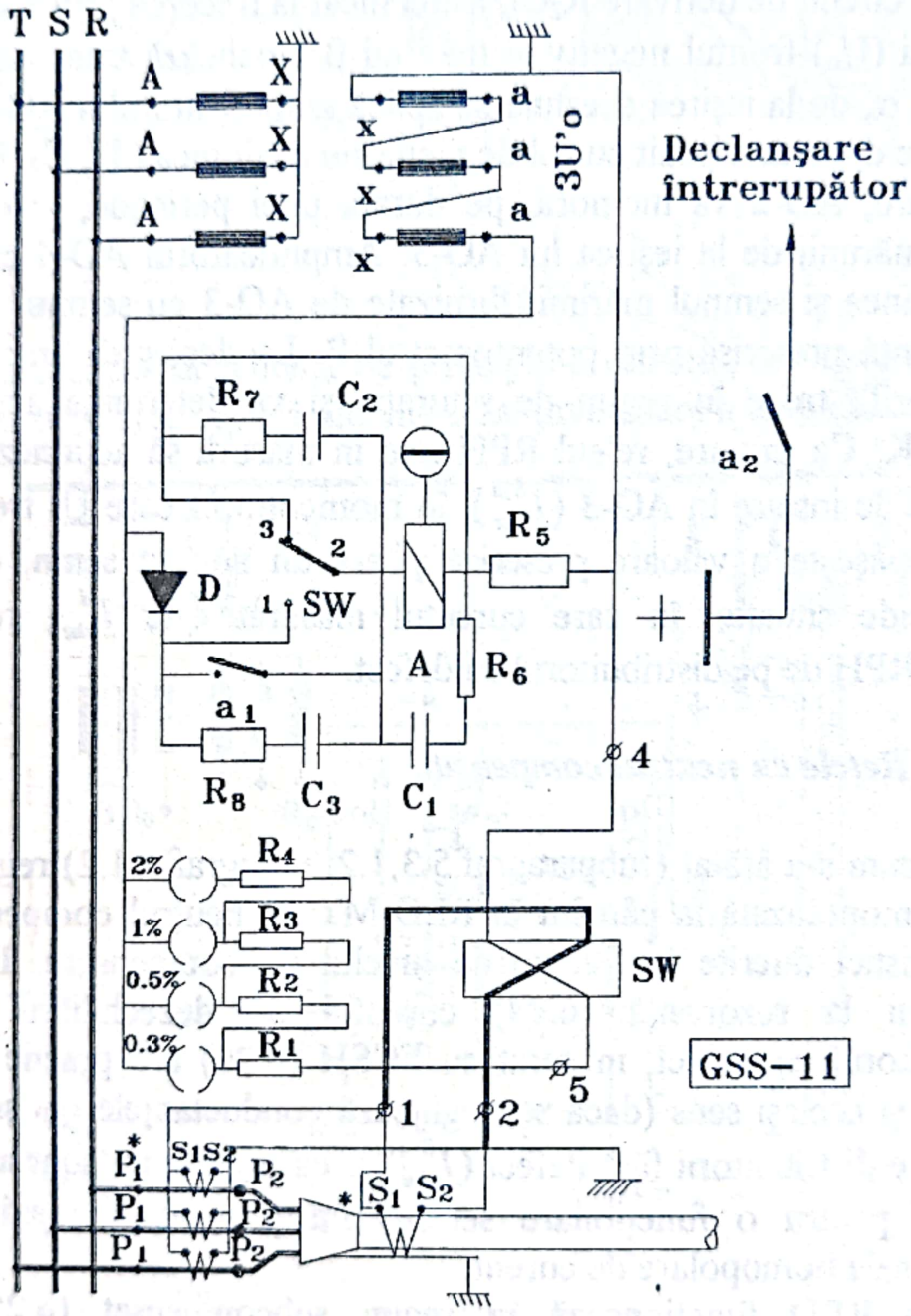


fig.7.9

$g_0 \neq 0$. Acesta are o schemă foarte asemănătoare cu cea din fig.7.6, diferența constând în aceea că s-au înlocuit condensatoarele $C_4 \div C_7$ cu

Scanned with OKEN Scanner

rezistențele $R_1 \div R_4$ din circuitul tensiunii $3\underline{U}_0$, ceea ce l-a transformat într-un releu cu caracteristică wattmetrică, la care ecuația cuplului de acționare este:

$$M = K U_0 I_{dez}^{S,d} \cos\varphi > 0 \qquad (7.6)$$

și care are valoarea maximă când cele două mărimi sunt în fază (fig.6.6 b,c).

In rețelele cu neutrul compensat, pentru localizarea distribuitorului cu o punere monofazată la pământ se utilizează și mijloace de protecție a căror acționare este determinată de armonicile superioare de curent din regimul de defect. In fig.7.10 este prezentată schema releului DPP,

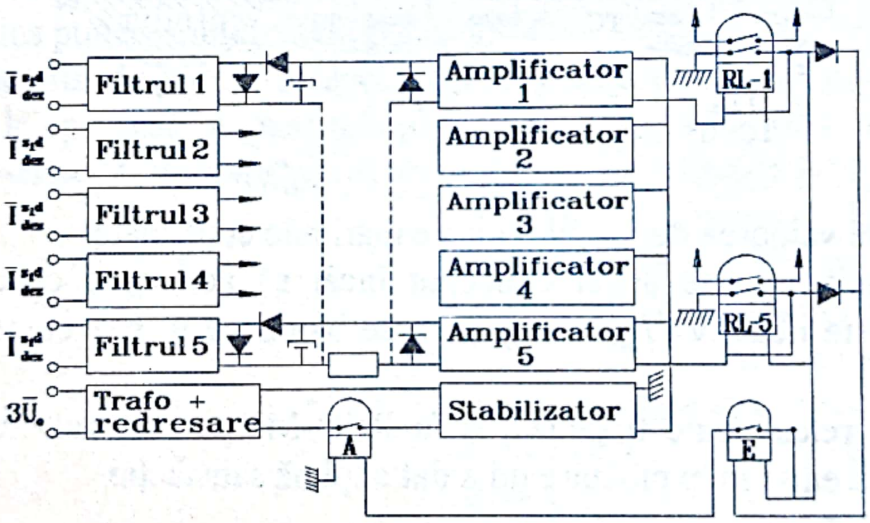


fig.7.10

care conține cinci module distincte, ce se pot conecta la cinci distribuitori, fiecare modul conținând filtru de armonici de 50 Hz, 150, 250 Hz. Nivelul ridicat al armonicelor de pe distribuitorul cu defect determină acționarea releului intermediar RL cu ieșire la declanșarea întrerupătorului de pe distribuitor.

In RED-MT cu neutrul compensat se utilizează principiul direcțional homopolar, în regim tranzitoriu, deoarece, așa cum este cunoscut [14],

Scanned with OKEN Scanner

datorită inerției circuitului de compensare, acesta nu se manifestă practic în primele momente ale regimului de defect.

In fig.7.11 se prezintă schema de principiu a releului direcțional homopolar de regim tranzitoriu RDT care este acționat dacă în prima semiperioadă curentul $\underline{I}^{d}_{dez}$ este în fază cu tensiunea $3\underline{U}_0$. Releul formează aceeaşi mărime B (7.5), însă în diagonala punților redresoare (circuitul L,C) se obține un tren de impulsuri negative sau pozitive, în

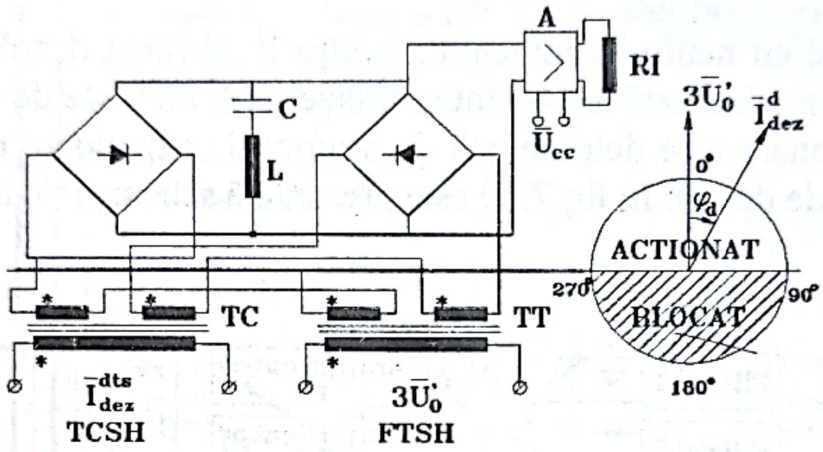


fig.7.11

funcție de valoarea defazajului dintre mărimile controlate.

Dispozitivul este astfel conceput încât să acționeze când primul impuls este negativ (I^{d}_{dez}; $3\underline{U}_0$) şi să se blocheze în caz contrar (I^{S}_{dez}; $3\underline{U}_0$).

Acest releu poate fi utilizat şi în RED-MT cu neutrul izolat, însă comportarea sa în exploatare nu a dat deplină satisfacție.

7.2.1.3. Rețele cu neutrul legat la pământ prin rezistență limitatoare.

Aşa cum se cunoaşte (subparagraf 5.3.1.3 şi paragraf 6.1.3) defectul monofazat în RED-MT cu neutrul legat la pământ prin rezistență limitatoare are caracteristici diferite în funcție de valoarea rezistenței (R_D) de trecere la locul cu defect. Ca urmare şi mijloacele de protecție sunt diferite pentru cele două tipuri de defect monofazat (scurtcircuit şi punere la pământ prin rezistență de trecere mare).

Scanned with OKEN Scanner

Scurtcircuitul monofazat se identifică şi localizează cu relee maximale de curent, alimentate de la FCSH (Holmgreen, Ferranti) fig.7.3, dar care au un curent de pornire relativ mare (60÷150 A); acestea se montează numai pe capătul din ID-MT a distribuitorului fig.7.2 şi permite localizarea distribuitorului cu un scurtcircuit monofazat. Pentru localizarea tronsonului (Tr) pe care s-a produs scurtcircuitul se utilizează clapeţii de semnalizare (CS, fig.7.2 montaţi pe fiecare fază) care trebuiesc "citiţi" la faţa locului şi readuşi în starea neacţionat.

Pentru identificarea şi localizarea punerii monofazate la pământ prin rezistenţă de trecere mare se folosesc două dispozitive cu funcţii diferite şi anume:

- un detector de curent, care identifică existenţa punerii la pământ;
- un căutător, pentru localizarea (selectarea) distribuitorului pe care s-a produs punerea monofazată la pământ.

Detectorul de curent măsoară curentul care circulă pe circuitul de legare la pământ a neutrului, fig.7.12, şi care fiind un releu electromagnetic de curent sesizează valori minime de 0,5 A.

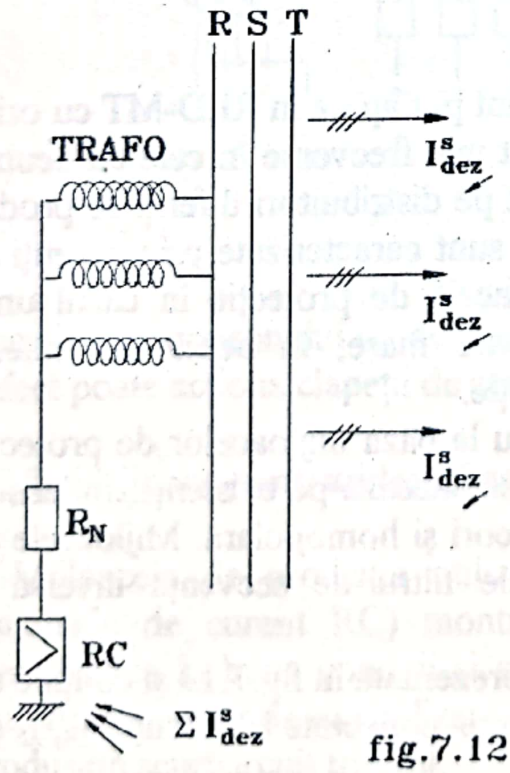


fig.7.12

Căutătorul pentru localizarea distribuitorului cu defect este pus în funcţiune de detectorul de curent şi acesta, prin operaţii de conectare-deconectare succesive a distribuitorilor, localizează distribuitorul defect pe seama revenirii la starea normală a detectorului în momentul deconectării acestuia din urmă. Căutătoarele (CSDR) realizate în prezent se pot folosi în ID-MT cu cel mult 18 distribuitori şi două circuite de alimentare. Această soluţie tehnică se foloseşte în RED-MT cu linii electrice aeriene sau mixte. In RED-MT cu linii cablu

Scanned with OKEN Scanner

punerea monofazată la pământ prin rezistență de trecere mare se identifică cu un detector de curent, iar distribuitorul defect se localizează prin manevre manuale succesive de conectare-deconectare a distribuitoarelor.

O realizare recentă o reprezintă releul direcțional homopolar de curent RDHC-1 [40] care controlează defazajul dintre căderea de tensiune de pe rezistența limitatoare R_N și curentul de dezechilibru de pe circuitele de plecare din ID-MT (distribuitoare). Releul controlează funcția B (7.5) iar momentul de acționare este dat de relația:

$$M = K\, U_0\, I_{dez} \cos\varphi + \alpha \qquad (7.7)$$

unde α este unghiul interior al aparatului.

7.2.2. Mijloace actuale pentru identificarea defectului bifazat.

Pentru cele două tipuri de defecte bifazate (subcap. 6.2) se utilizează două tipuri de mijloace de protecție și anume:

- pentru dublele puneri la pământ;
- pentru scurtcircuitul bifazat.

In principiu dublele puneri la pământ pot apare în RED-MT cu orice soluție de tratare a neutrului, dar sunt mai frecvente în cele cu neutrul izolat [14]. Dublele puneri la pământ pe distribuitori diferiți se produc mai ales în rețelele aeriene extinse și sunt caracterizate prin curenți de defect mici, greu sesizabili de mijloacele de protecție în cazul unor rezistențe de trecere (R_D) de valoare mare; în acest caz releele maximale de curent nu pot da satisfacție.

Ca urmare, soluțiile tehnice ce stau la baza mijloacelor de protectie împotriva dublelor puneri la pământ se bazează pe existența, îndeosebi a curenților de secvență inversă și uneori și homopolară. Mijloacele de protecție se bazează deci pe releele filtru de secvență inversă și homopolară.

Schema unui asemenea filtru este prezentată în fig.7.13 și conține un transformator cu două înfășurări primare conectate la curenții $\underline{I}_R$, $\underline{I}_S$ și

Scanned with OKEN Scanner

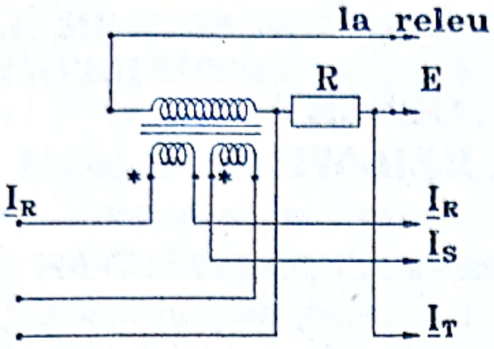


fig.7.13

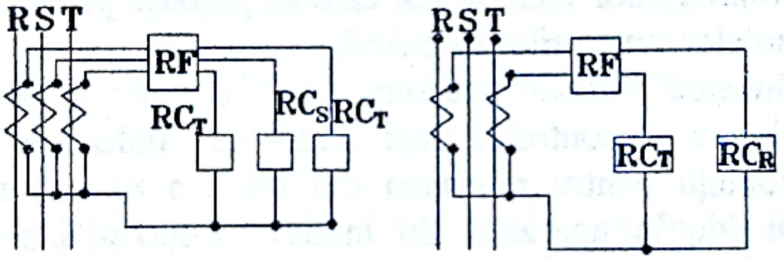
o rezistenţă R parcursă de curentul $\underline{I}_T$. Tensiunea ce se aplică releului (E) are expresia:

$$E = 2\sqrt{3}\, I_i \cdot K \qquad (7.8)$$

fiind o functie numai de componenta inversă de curent ($\underline{I}_i$).

In mod obişnuit pe fiecare distribuitor se montează o protecţie maximală de curent (RC) pe una, două sau trei faze, fig.7.14, şi un filtru releu (RF) comun, ambele având temporizări prin relee de timp diferite sau realizate printr-un releu comun.

Cu aceste mijloace de protectie, aşa cum s-a arătat în subcap. 6.2, se identifică şi se localizează distribuitorul cu un defect bifazat.



a) b)

fig.7.14

Localizarea tronsonului cu defect este posibilă numai dacă curentul de defect poate acţiona clapeţii de semnalizare.

7.2.3. Mijloace pentru identificarea scurtcircuitului trifazat.

Mijloacele de protecţie utilizate pentru defectul bifazat (releele maximale de curent RC) montate pe două sau trei faze, asigură identificarea în bune condiţii şi a scurtcircuitului trifazat. Evident, cu ajutorul clapeţilor de semnalizare se localizează şi tronsonul pe care s-a produs un scurtcircuit trifazat.

Scanned with OKEN Scanner

CAP.8. METODE NOI DE OBSERVARE A DEFECTELOR ÎN RED-MT.

Elaborarea unor metode noi de observare a defectelor în RED-MT a fost determinată de preocupările, în acest domeniu, pe plan mondial, conţinute şi în "Programul de cercetare ştiinţifică în domeniul energiei pentru perioada 1990 - 2000" al Colegiului consultativ pentru cercetare aplicativă şi dezvoltare - Comisia Energie şi care, printre altele, prevede:

- utilizarea tehnicii de calcul pentru aplicarea unor metode clasice în domeniul supravegherii, diagnosticării şi controlului unor componente ale sistemelor electroenergetice.
- elaborarea unor metode noi care să permită punerea în valoare a performanţelor structurilor de calcul.

Introducerea unei structuri de calcul pentru controlul, supravegherea şi controlul unei RED-MT, îndeosebi urbană [17], crează condiţii pentru relevarea din reţea a unui număr mare de informaţii (de la aparatele de măsură, dispozitivele de protecţie, semnalizare, etc.) şi transmiterea acestora către centrul de dispecer ce asigură conducerea operativă a RED-MT.

O problemă specifică RED-MT urbane, determinată de configuraţia acestora, bazată pe distribuitori secţionali în mai multe tronsoane fig.4.2 constă în localizarea tronsonului (Tr), dintre două posturi de transformare (PT), pe care s-a produs un defect.

In prezent această problemă are o rezolvare numai pentru RED-MT urbane cu neutrul legat la pământ prin rezistenţă limitatoare (R_N) şi se bazează pe valoarea relativ mare a curentului de scurtcircuit monofazat, care este în măsură să acţioneze un releu electromagnetic (clapet de semnalizare, indicator de scurtcircuit) montat pe fiecare fază şi pe capătul dinspre sursă al fiecărui tronson al unui distribuitor.

Scanned with OKEN Scanner

8.1. METODE NOI DE IDENTIFICARE ŞI LOCALIZARE A PUNERII MONOFAZATE LA PĂMÂNT.

Metodele care se vor prezenta în acest subcapitol permit atât identificarea selectivă a circuitului (distribuitorului) şi a fazei cu defect, cât şi localizarea, eventual, a tronsonului unui distribuitor pe care s-a produs o punere monofazată la pământ.

In cazul particular al unor elemente ale unei RED-MT desfăşurate pe o distanţă relativ mare este dificil de aplicat criteriul diferenţial pentru identificarea elementului (tronsonului) cu defect.

Aşa cum se va vedea în continuare, se poate aplica, în scopul localizării tronsonului cu defect al unui distribuitor, deja identificat, atât criteriul maximului cât şi cel direcţional, bazate pe controlul într-un punct al unor mărimi şi nu pe compararea mărimilor din două puncte diferite (criteriul diferenţial).

8.1.1. Punere monofazată la pământ în RED-MT urbane cu neutrul izolat.

Din cele prezentate în paragraf 6.1.1 a rezultat că, în prezent, nu este fundamentată o metodă care să permită identificarea fazei şi a tronsonului unui distribuitor pe care s-a produs o punere monofazată la pământ în RED-MT cu neutrul izolat. Aceasta deoarece pentru identificarea circuitului (distribuitorului) cu defect se controlează defazajele dintre curenţii de dezechilibru ($\underline{I}^{S}_{dez}, \underline{I}^{d}_{dez}$) şi tensiunea de deplasare a neutrului $\underline{U}_{dd}$. Evident, dacă aceste defazaje s-ar controla şi pe capătul fiecărui tronson, al fiecărui distribuitor (în PT), ar fi posibilă şi localizarea tronsonului cu defect. Insă, în acest scop, ar fi necesar să se monteze câte un FTSH (transformator în triunghi deschis) în fiecare PT, ceea ce ar necesita un volum de investiţii deosebit de mare.

Pe lângă aceasta, între tensiunea $\underline{U}_{dd}$ şi curenţii $\underline{I}^{s}_{dez}$ şi $\underline{I}^{d}_{dez}$ defazajele nu depind şi de faza pusă la pământ, nefiind posibilă astfel identificarea şi a fazei cu defect .

Scanned with OKEN Scanner

Ca urmare, în continuare se va prezenta o metodă nouă care, în scopul identificării şi localizării complete a unei puneri monofazate la pământ în RED-MT cu neutrul izolat, foloseşte o referinţă accesibilă practic în toată reţeaua (în fiecare PT) şi în raport cu care curenţii de dezechilibru au defazaje cu valori determinate şi de faza pusă la pământ.

După cum este cunoscut [37] transformatoarele de forţă din posturile de transformare (PT), fig.8.1 au înfăşurările din primar (medie tensiune) conectate în triunghi (Δ), iar cele din secundar (joasă tensiune) conectate în stea cu neutrul accesibil (Y_0), respectiv grupa de conexiuni ΔY_0 - 5 sau ΔY_0 - 11. După cum se va vedea, în cazul utilizării în PT a unor transformatoare cu altă grupă de conexiuni, metoda ce se va prezenta în continuare, se poate aplica prin introducerea unor defazaje suplimentare. Deasemeni transformatoarele din staţiile de transformare (IT/MT) ce alimentează RED-MT cu neutrul izolat au înfăşurările din primar (IT) conectate în stea (Y), iar cele din secundar (MT) conectate în triunghi (Δ), respectiv grupa de conexiuni YΔ-5.

Ideea care stă la baza acestei metode constă în faptul că, după cum se va vedea, între curenţii de dezechilibru $\underline{I}^{S}_{dez}$, $\underline{I}^{d}_{dez}$ dintr-o RED-MT, fig.8.1 şi tensiunile de fază $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ ale sistemului trifazat de tensiuni de pe partea de joasă tensiune a posturilor de transformare, alimentate de la această RED-MT, echipate cu transformatoare de forţă cu grupa de conexiuni ΔY_0-5 sau ΔY_0-11, în condiţiile unei puneri monofazate ferme la pământ (R_D=0), există defazajele $\varphi^{S}_{dez\,a,b,c}$, respectiv $\varphi^{d}_{dez\,a,b,c}$ a căror valoare este strict determinată de faza şi locul în care s-a produs defectul.

Notă:

De regulă mărimile electrice din primarul şi secundarul transformatoarelor de forţă trifazate (studiate individual) se notează cu indici (litere) similari (A,B,C în primar şi a,b,c în secundar sau R,S,T, respectiv r,s,t).Deoarece, pe de o parte,se analizează ansamblul RED-MT, transformatoare de forţă din PT, iar pe de altă parte, pentru a evita eventualele confuzii, determinate de necesităţile de notare, specifice metodei, s-au adoptat,pentru indicii unui sistem electric trifazat, notaţiile din fig.8.1.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru grupele de conexiuni întâlnite ale transformatoarelor de forţă din staţiile de transformare de IT/MT şi din posturile de transformare (PT) cu conexiunile ΔY_0-5(11), să analizăm defazajele $\varphi^{S}_{dez\,a,b,c}$ şi $\varphi^{d}_{dez\,a,b,c}$ dintre curenţii $\underline{I}^{S}_{dez}$ şi $\underline{I}^{d}_{dez}$ şi tensiunile de fază $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ de pe partea de joasă tensiune (JT) a PT, în condiţiile unei puneri monofazate la pământ ferme (R_D=0), pe distribuitorul 2, în punctul K, fig.8.1a; vor fi puse în evidenţă defazajele dintre curenţii $\underline{I}^{S}_{dez}$, $\underline{I}^{d}_{dez}$ şi $\underline{I}_{pp}$ (5.44').

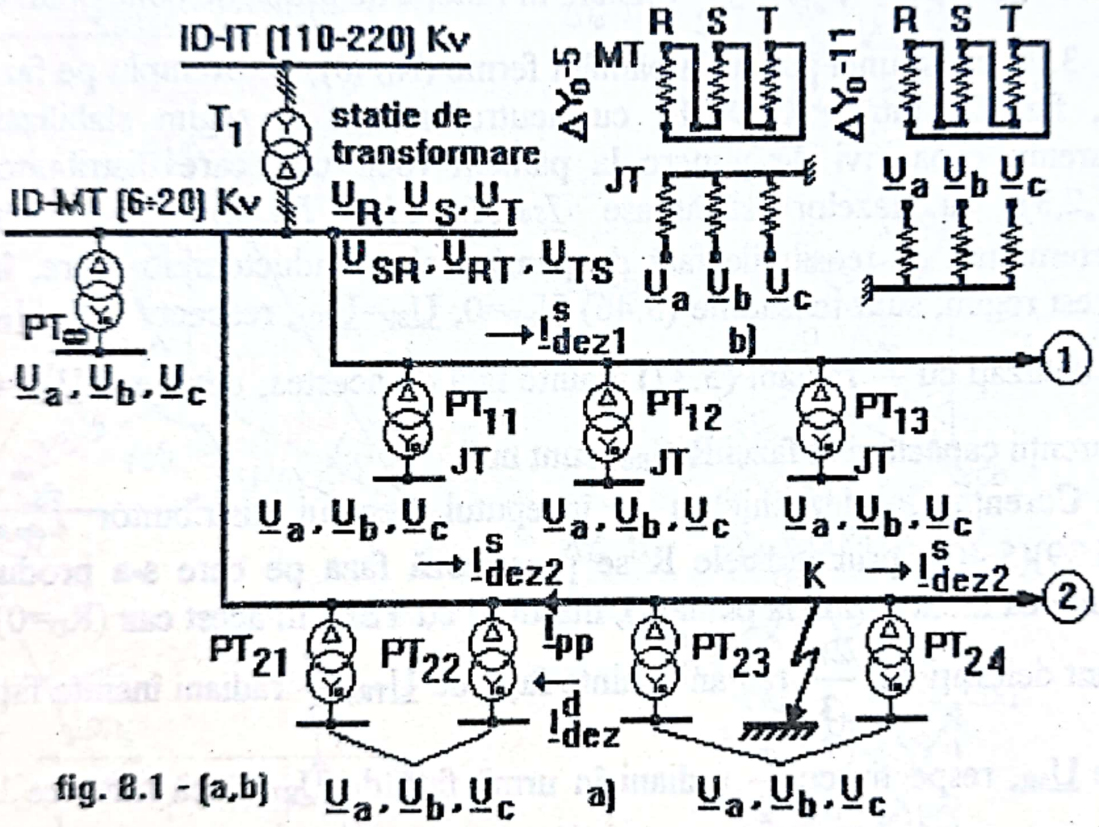


fig. 8.1 - [a,b]

1. Deoarece în regim de punere monofazată la pământ, aşa cum rezultă şi din anexa I, se poate considera că tensiunile din RED-MT, fig.8.1 nu se dezechilibrează sensibil, indiferent de valoarea rezistenţei R_D, rămânând aceleaşi în toată reţeaua, aceste tensiuni pot constitui o referinţă comună în toată RED-MT.

2. In fig.8.2 sunt prezentate diagramele fazoriale ale tensiunilor de linie $\underline{U}_{SR}$, $\underline{U}_{TS}$, $\underline{U}_{RT}$ din primarul transformatorului de forţă din posturile

Scanned with OKEN Scanner

de transformare (PT) cu înfăşurările conectate în triunghi, a tensiunilor de fază $\underline{U}_R$, $\underline{U}_S$, $\underline{U}_T$ precum şi ale tensiunilor de linie $\underline{U}_{ba}$,$\underline{U}_{cb}$,$\underline{U}_{ac}$ şi de fază $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ din secundarul aceloraşi transformatoare corespunzătoare grupelor de conexiuni ΔY_0-5(11) (fig.8.16).

Din diagrame rezultă că între tensiunile primare de fază $\underline{U}_R$, $\underline{U}_S$, $\underline{U}_T$ din RED-MT (aceleaşi cu tensiunile de fază din primarul transformatoarelor de forţă din PT) şi tensiunile de fază $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$, $\underline{U}_a$ din secundarul aceloraşi transformatoare de forţă din PT defazajele sunt: $\varphi_{bR} = \varphi_{cS} = \varphi_{aT} = \pm\frac{\pi}{2}$ radiani, în funcţie de grupa de conexiuni.

3. In cazul unei puneri la pământ ferme (R_D=0), de exemplu pe faza R, fig.8.2a într-o RED-MT cu neutrul izolat, în regim stabilizat, curenţii capacitivi de punere la pământ (pentru fiecare distribuitor (1,2,3)) ai fazelor sănătoase $\underline{I}_{S0_1}, \underline{I}_{S0_2}, \underline{I}_{S0_3}, \underline{I}_{T0_1}, \underline{I}_{T0_2}, \underline{I}_{T0_3}$ sunt determinaţi de tensiunile faţă de pământ ale conductoarelor care, în acest regim, sunt tensiunile (5.46) $\underline{U}_{RP}$=0, $\underline{U}_{SP}$=$\underline{U}_{SR}$, respectv $\underline{U}_{TP}$=$\underline{U}_{TR}$ şi defazaţi cu $\frac{\pi}{2}$ radiani (5.37) înainte faţă de acestea; deoarece $\underline{U}_{RP}$=0 curenţii capacitivi ai fazei R ($\underline{I}_{R0}$) sunt nuli.

Curenţii de dezechilibru la începutul fiecărui distribuitor $\underline{I}^S_{dez\,Ri}$ (5.39)(5.40)(prin indicele R se precizează faza pe care s-a produs punerea monofazată la pământ), măsuraţi cu TSH, în acest caz (R_D=0), sunt defazaţi cu: $\frac{2\pi}{3}$ radiani înainte faţă de $\underline{U}_{TR}$, $\frac{\pi}{3}$ radiani înainte faţă de $\underline{U}_{SR}$, respectiv cu $\frac{\pi}{2}$ radiani în urmă faţă de $\underline{U}_R$. Dacă punerea la pământ are loc pe faza S, fig.8.2b, pe baza aceluiaşi raţionament rezultă că $\underline{I}^S_{dez\,S}$ va avea un defazaj de $\frac{\pi}{2}$ radiani în urmă faţă de tensiunea $\underline{U}_S$, iar dacă punerea la pământ se produce pe faza T, fig.8.2c, a RED-MT atunci curentul $\underline{I}^S_{dez\,T}$ va avea un defazaj de $\frac{\pi}{2}$ radiani în urmă faţă de tensiunea de fază $\underline{U}_T$.

4. Defazajele $\varphi^S_{dez\,a,b,c}$ dintre curentul de dezechilibru (din

Scanned with OKEN Scanner

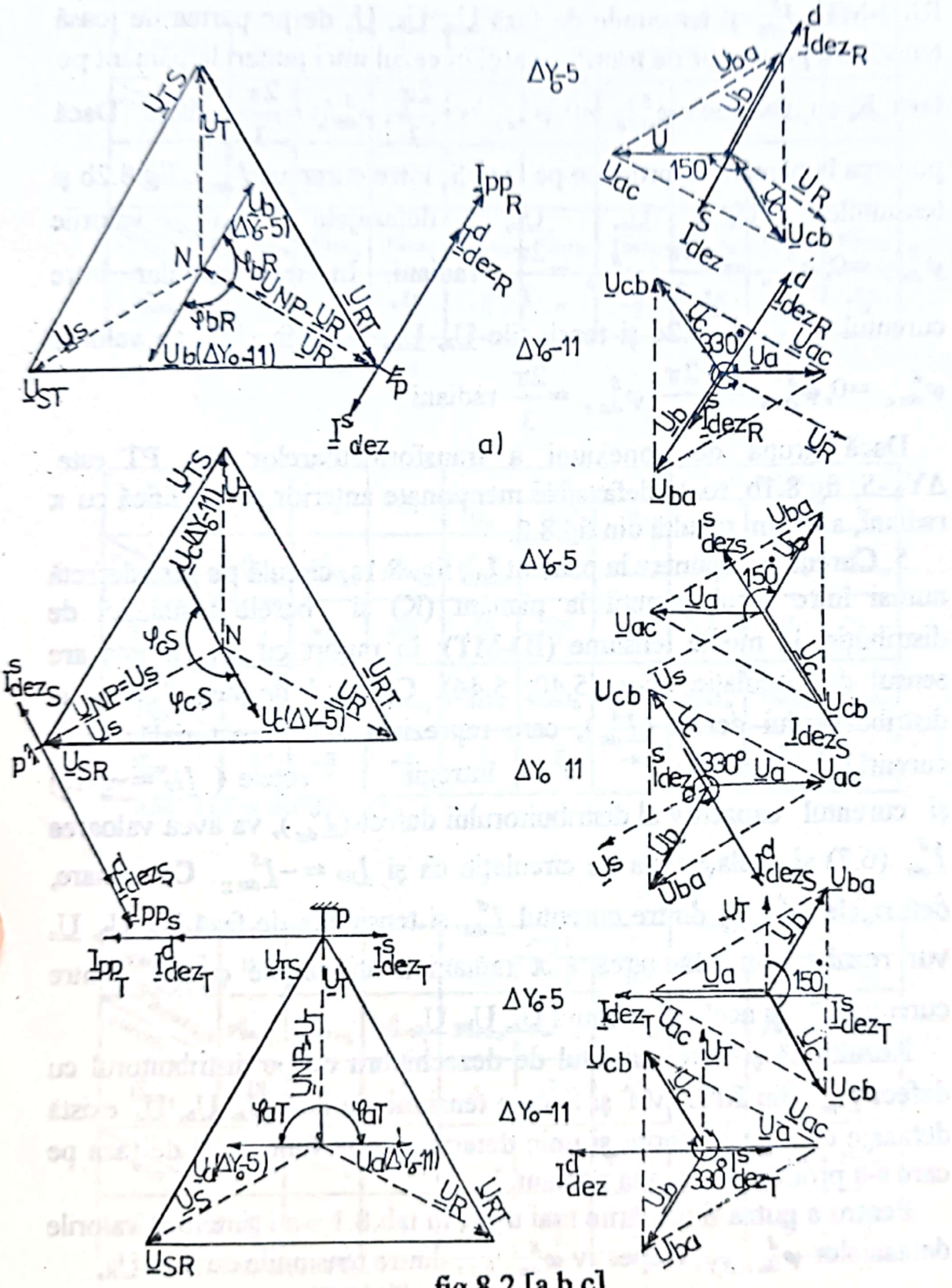


fig.8.2 [a,b,c]

Scanned with OKEN Scanner

RED-MT) $\underline{I}^S_{dez}$ şi tensiunile de fază $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ de pe partea de joasă tensiune a posturilor de transformare, în cazul unei puneri la pământ pe faza R, au valorile: $\varphi^S_{dez\,b}=0; \varphi^S_{dez\,c}=-\frac{2\pi}{3}; \varphi^S_{dez\,a}=\frac{2\pi}{3}$ radiani. Dacă punerea la pământ se produce pe faza S, între curentul $\underline{I}^S_{dez\,S}$, fig.8.2b şi tensiunile $\underline{U}_c$, $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, defazajele au valorile $\varphi^S_{dez\,c}=0; \varphi^S_{dez\,a}=-\frac{2\pi}{3}; \varphi^S_{dez\,b}=\frac{2\pi}{3}$ radiani. In mod similar între curentul $\underline{I}^S_{dez\,T}$, fig.8.2c şi tensiunile $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ defazajele au valorile $\varphi^S_{dez\,a}=0; \varphi^S_{dez\,b}=-\frac{2\pi}{3}; \varphi^S_{dez\,c}=\frac{2\pi}{3}$ radiani.

Dacă grupa de conexiuni a transformatoarelor din PT este ΔY_0-5, fig.8.1b, toate defazajele menţionate anterior se modifică cu π radiani, aşa cum rezultă din fig.8.2.

5. Curentul de punere la pământ $\underline{I}_{pp}$, fig. 8.1a, circulă pe faza defectă numai între locul punerii la pământ (K) şi barele instalaţiei de distribuţie de medie tensiune (ID-MT); în raport cu $\underline{I}^S_{dez}$ acesta are sensul de circulaţie opus (5.40; 5.44). Curentul de dezechilibru al distribuitorului defect ($\underline{I}^d_{dez}$), care reprezintă suma vectorială dintre curentul capacitiv al întregii reţele ($\underline{I}_{pp}=-\underline{I}_{dez\,\Sigma}$) şi curentul capacitiv al distribuitorului defect ($\underline{I}^S_{dez}$), va avea valoarea $\underline{I}^d_{dez}$ (6.7) şi acelaşi sens de circulaţie ca şi $\underline{I}_{pp}=-\underline{I}^S_{dez\,\Sigma}$. Ca urmare, defazajele $\varphi^d_{dez\,a,b,c}$ dintre curentul $\underline{I}^d_{dez}$ şi tensiunile de fază $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ vor rezulta prin adăugarea a π radiani la defazajele $\varphi^S_{dez\,a,b,c}$ dintre curentul $\underline{I}^S_{dez}$ şi aceleaşi tensiuni $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$.

Rezultă că şi între curentul de dezechilibru de pe distribuitorul cu defect $\underline{I}^d_{dez}$, din RED-MT şi fiecare tensiune de fază $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ există defazaje cu valori diferite şi unic determinate în funcţie şi de faza pe care s-a produs punerea la pământ.

Pentru a putea fi urmărite mai uşor, în tab.8.1 s-au sintetizat valorile defazajelor $\varphi^d_{dez\,R,S,T}$, respectiv $\varphi^S_{dez\,R,S,T}$, dintre tensiunile de fază $\underline{U}_R$,

Scanned with OKEN Scanner

TENSIUNI	$\underline{U}_R$	$\underline{U}_S$	$\underline{U}_T$	ΔY_0-5			ΔY_0-11		
				$\underline{U}_a$	$\underline{U}_b$	$\underline{U}_c$	$\underline{U}_a$	$\underline{U}_b$	$\underline{U}_c$
defazaje / curenti	$\varphi^d_{dez_R}$	$\varphi^d_{dez_S}$	$\varphi^d_{dez_T}$	$\varphi^d_{dez_a}$	$\varphi^d_{dez_b}$	$\varphi^d_{dez_c}$	$\varphi^d_{dez_a}$	$\varphi^d_{dez_b}$	$\varphi^d_{dez_c}$
$\underline{I}^d_{dez_R}$	$+\frac{\pi}{2}$	$+\frac{7\pi}{6}$	$+\frac{\pi}{6}$	$-\frac{2\pi}{3}$	0	$+\frac{2\pi}{3}$	$+\frac{\pi}{3}$	π	$-\frac{\pi}{3}$
defazaje / curenti	$\varphi^s_{dez_R}$	$\varphi^s_{dez_S}$	$\varphi^s_{dez_T}$	$\varphi^s_{dez_a}$	$\varphi^s_{dez_b}$	$\varphi^s_{dez_c}$	$\varphi^s_{dez_a}$	$\varphi^s_{dez_b}$	$\varphi^s_{dez_c}$
$\underline{I}^s_{dez_R}$	$-\frac{\pi}{2}$	$+\frac{\pi}{6}$	$+\frac{7\pi}{6}$	$+\frac{\pi}{3}$	π	$-\frac{\pi}{3}$	$-\frac{2\pi}{3}$	0	$+\frac{2\pi}{3}$

PUNERE LA PAMINT PE FAZA R
tab. 8.1 - (a)

TENSIUNI	$\underline{U}_R$	$\underline{U}_S$	$\underline{U}_T$	ΔY_0-5			ΔY_0-11		
				$\underline{U}_a$	$\underline{U}_b$	$\underline{U}_c$	$\underline{U}_a$	$\underline{U}_b$	$\underline{U}_c$
defazaje / curenti	$\varphi^d_{dez_R}$	$\varphi^d_{dez_S}$	$\varphi^d_{dez_T}$	$\varphi^d_{dez_a}$	$\varphi^d_{dez_b}$	$\varphi^d_{dez_c}$	$\varphi^d_{dez_a}$	$\varphi^d_{dez_b}$	$\varphi^d_{dez_c}$
$\underline{I}^d_{dez_S}$	$-\frac{\pi}{6}$	$+\frac{\pi}{2}$	$+\frac{7\pi}{6}$	$+\frac{2\pi}{3}$	$-\frac{2\pi}{3}$	0	$-\frac{\pi}{3}$	$+\frac{\pi}{3}$	π
defazaje / curenti	$\varphi^s_{dez_R}$	$\varphi^s_{dez_S}$	$\varphi^s_{dez_T}$	$\varphi^s_{dez_a}$	$\varphi^s_{dez_b}$	$\varphi^s_{dez_c}$	$\varphi^s_{dez_a}$	$\varphi^s_{dez_b}$	$\varphi^s_{dez_c}$
$\underline{I}^s_{dez_S}$	$-\frac{7\pi}{6}$	$-\frac{\pi}{2}$	$+\frac{\pi}{6}$	$-\frac{\pi}{3}$	$+\frac{\pi}{3}$	$-\pi$	$+\frac{2\pi}{3}$	$-\frac{2\pi}{3}$	0

PUNERE LA PAMINT PE FAZA S
tab. 8.1 - (b)

TENSIUNI	$\underline{U}_R$	$\underline{U}_S$	$\underline{U}_T$	ΔY_0-5			ΔY_0-11		
				$\underline{U}_a$	$\underline{U}_b$	$\underline{U}_c$	$\underline{U}_a$	$\underline{U}_b$	$\underline{U}_c$
defazaje / curenti	$\varphi^s_{dez_R}$	$\varphi^d_{dez_S}$	$\varphi^d_{dez_T}$	φ_{dez_a}	$\varphi^d_{dez_b}$	$\varphi^d_{dez_c}$	$\varphi^d_{dez_a}$	$\varphi^d_{dez_b}$	$\varphi^d_{dez_c}$
$\underline{I}^d_{dez_T}$	$+\frac{7\pi}{6}$	$-\frac{\pi}{6}$	$+\frac{\pi}{2}$	0	$+\frac{2\pi}{3}$	$-\frac{2\pi}{3}$	π	$-\frac{\pi}{3}$	$+\frac{\pi}{3}$
defazaje / curenti	$\varphi^s_{dez_R}$	$\varphi^s_{dez_S}$	$\varphi^s_{dez_T}$	$\varphi^s_{dez_a}$	$\varphi^s_{dez_b}$	$\varphi^s_{dez_c}$	$\varphi^s_{dez_a}$	$\varphi^s_{dez_b}$	$\varphi^s_{dez_c}$
$\underline{I}^s_{dez_T}$	$+\frac{\pi}{6}$	$-\frac{7\pi}{6}$	$-\frac{\pi}{2}$	$-\pi$	$-\frac{\pi}{3}$	$+\frac{\pi}{3}$	0	$+\frac{2\pi}{3}$	$-\frac{2\pi}{3}$

PUNERE LA PAMINT PE FAZA T
tab. 8.1 - (c)

Scanned with OKEN Scanner

TENSIUNI	$\underline{U}_R$	$\underline{U}_S$	$\underline{U}_T$	ΔY_0-5			ΔY_0-11		
defazaje / curenti				$\underline{U}_a$	$\underline{U}_b$	$\underline{U}_c$	$\underline{U}_a$	$\underline{U}_b$	$\underline{U}_c$
	$\varphi^d_{dez_R}$	$\varphi^d_{dez_S}$	$\varphi^d_{dez_T}$	$\varphi^d_{dez_a}$	$\varphi^d_{dez_b}$	$\varphi^d_{dez_c}$	$\varphi^d_{dez_a}$	$\varphi^d_{dez_b}$	$\varphi^d_{dez_c}$
$\underline{I}^d_{dez_R}$	$+\frac{\pi}{2}$	$+\frac{7\pi}{6}$	$+\frac{\pi}{6}$	$-\frac{2\pi}{3}$	0	$+\frac{2\pi}{3}$	$+\frac{\pi}{3}$	π	$-\frac{\pi}{3}$
defazaje / curenti	$\varphi^s_{dez_R}$	$\varphi^s_{dez_S}$	$\varphi^s_{dez_T}$	$\varphi^s_{dez_a}$	$\varphi^s_{dez_b}$	$\varphi^s_{dez_c}$	$\varphi^s_{dez_a}$	$\varphi^s_{dez_b}$	$\varphi^s_{dez_c}$
$\underline{I}^s_{dez_R}$	$-\frac{\pi}{2}$	$+\frac{\pi}{6}$	$+\frac{7\pi}{6}$	$+\frac{\pi}{3}$	π	$-\frac{\pi}{3}$	$-\frac{2\pi}{3}$	0	$+\frac{2\pi}{3}$

PUNERE LA PAMINT PE FAZA R

tab. 8.1 - (a)

TENSIUNI	$\underline{U}_R$	$\underline{U}_S$	$\underline{U}_T$	ΔY_0-5			ΔY_0-11		
defazaje / curenti				$\underline{U}_a$	$\underline{U}_b$	$\underline{U}_c$	$\underline{U}_a$	$\underline{U}_b$	$\underline{U}_c$
	$\varphi^d_{dez_R}$	$\varphi^d_{dez_S}$	$\varphi^d_{dez_T}$	$\varphi^d_{dez_a}$	$\varphi^d_{dez_b}$	$\varphi^d_{dez_c}$	$\varphi^d_{dez_a}$	$\varphi^d_{dez_b}$	$\varphi^d_{dez_c}$
$\underline{I}^d_{dez_S}$	$-\frac{\pi}{6}$	$+\frac{\pi}{2}$	$+\frac{7\pi}{6}$	$+\frac{2\pi}{3}$	$-\frac{2\pi}{3}$	0	$-\frac{\pi}{3}$	$+\frac{\pi}{3}$	π
defazaje / curenti	$\varphi^s_{dez_R}$	$\varphi^s_{dez_S}$	$\varphi^s_{dez_T}$	$\varphi^s_{dez_a}$	$\varphi^s_{dez_b}$	$\varphi^s_{dez_c}$	$\varphi^s_{dez_a}$	$\varphi^s_{dez_b}$	$\varphi^s_{dez_c}$
$\underline{I}^s_{dez_S}$	$-\frac{7\pi}{6}$	$-\frac{\pi}{2}$	$+\frac{\pi}{6}$	$-\frac{\pi}{3}$	$+\frac{\pi}{3}$	$-\pi$	$+\frac{2\pi}{3}$	$-\frac{2\pi}{3}$	0

PUNERE LA PAMINT PE FAZA S

tab. 8.1 - (b)

TENSIUNI	$\underline{U}_R$	$\underline{U}_S$	$\underline{U}_T$	ΔY_0-5			ΔY_0-11		
defazaje / curenti				$\underline{U}_a$	$\underline{U}_b$	$\underline{U}_c$	$\underline{U}_a$	$\underline{U}_b$	$\underline{U}_c$
	$\varphi^s_{dez_R}$	$\varphi^d_{dez_S}$	$\varphi^d_{dez_T}$	φ_{dez_a}	$\varphi^d_{dez_b}$	$\varphi^d_{dez_c}$	$\varphi^d_{dez_a}$	$\varphi^d_{dez_b}$	$\varphi^d_{dez_c}$
$\underline{I}^d_{dez_T}$	$+\frac{7\pi}{6}$	$-\frac{\pi}{6}$	$+\frac{\pi}{2}$	0	$+\frac{2\pi}{3}$	$-\frac{2\pi}{3}$	π	$-\frac{\pi}{3}$	$+\frac{\pi}{3}$
defazaje / curenti	$\varphi^s_{dez_R}$	$\varphi^s_{dez_S}$	$\varphi^s_{dez_T}$	$\varphi^s_{dez_a}$	$\varphi^s_{dez_b}$	$\varphi^s_{dez_c}$	$\varphi^s_{dez_a}$	$\varphi^s_{dez_b}$	$\varphi^s_{dez_c}$
$\underline{I}^s_{dez_T}$	$+\frac{\pi}{6}$	$-\frac{7\pi}{6}$	$-\frac{\pi}{2}$	$-\pi$	$-\frac{\pi}{3}$	$+\frac{\pi}{3}$	0	$+\frac{2\pi}{3}$	$-\frac{2\pi}{3}$

PUNERE LA PAMINT PE FAZA T

tab. 8.1 - (c)

Scanned with OKEN Scanner

$\underline{U}_S$, $\underline{U}_T$ din primarul transformatoarelor de forţă din posturile de transformare şi curenţii $\underline{I}^d_{dez}$, respectiv $\underline{I}^S_{dez}$ şi ale defazajelor dintre tensiunile de faza $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ din secundarul aceloraşi transformatoare şi aceiaşi curenţi, în cazul unei puneri la pământ ferme (R_D=0) pe fazele R, S, T din RED-MT. Defazajele s-au considerat cu valori pozitive când, în raport cu referinţa (tensiunile de fază), s-au măsurat în sens antiorar, respectiv negative, când s-au măsurat în sens orar.

Din cele prezentate rezultă că prin controlul defazajelor dintre curenţii de dezechilibru $\underline{I}^d_{dez}$, $\underline{I}^S_{dez}$ corespunzători punerii la pământ a unei faze din RED-MT şi tensiunile de fază $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ din secundarul transformatoarelor de forţă din PT cu grupa de conexiuni ΔY_0-5(11), se poate localiza, pe de o parte, distribuitorul cu punerea monofazată la pământ şi chiar tronsonul dintre două posturi de transformare succesive ale distribuitorului pe care s-a produs defectul, iar pe de altă parte, permit şi determinarea fazei pe care s-a produs acesta.

Cât priveşte tensiunile de fază $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ acestea se pot măsura direct pe partea de joasă tensiune a fiecărui post de transformare (PT), iar curenţii de dezechilibru ($\underline{I}^d_{dez}$, $\underline{I}^S_{dez}$) din reţeaua de medie tensiune, se pot măsura, în cazul executării RED-MT cu LES, cu transformatoare de curent de secvenţă homopolară (TSH-CIRHI), fig.8.3 iar în cazul

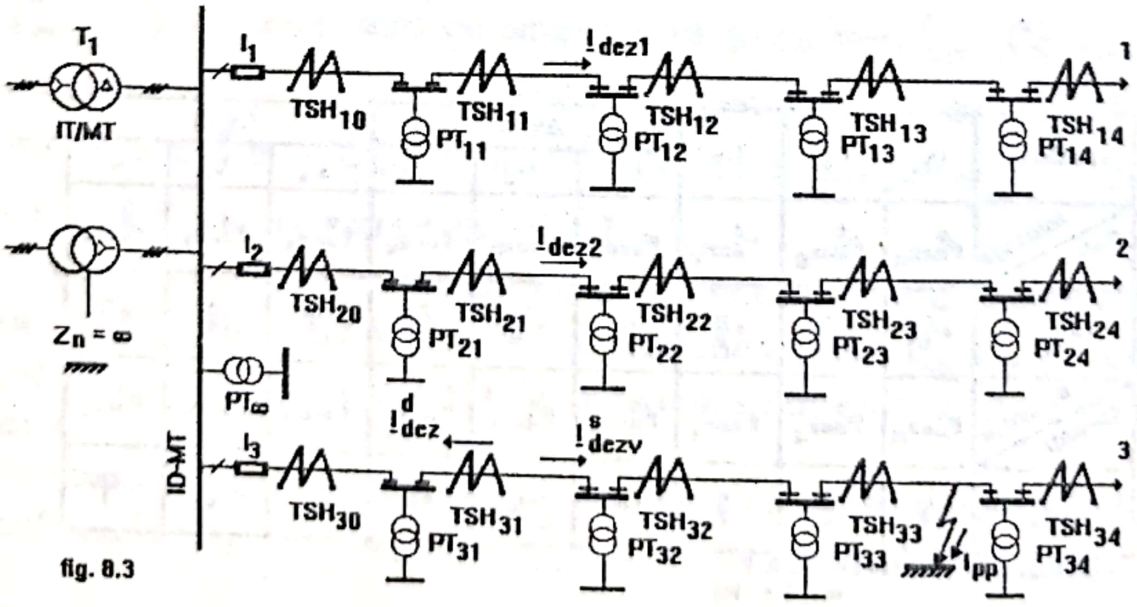


fig. 8.3

Scanned with OKEN Scanner

LEA cu transformatoare sumatoare de construcție specială [31], montate pe capătul dinspre sursă al fiecărui tronson de pe distribuitor.

In fig.8.4 este reprezentată schema de principiu a dispozitivului (Aij) ce se montează în PTij ale RED-MT şi care controlează defazajele $\varphi^{d,S}_{dez\ a,b,c}$ conform metodei.

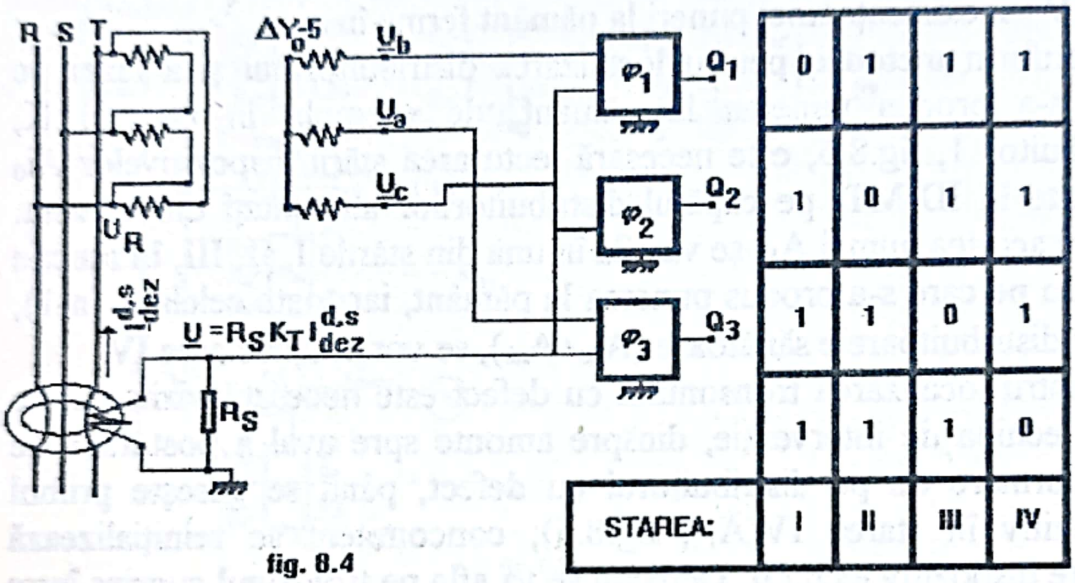


fig. 8.4

Acesta conține trei comparatoare de fază φ_1, φ_2, φ_3 şi este conectat, pe de o parte, direct la tensiunile de fază $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ din secundarul transformatoarelor de forță cu grupa de conexiuni ΔY_0-5,(conform metodei), iar pe de altă parte, la ieşirea transformatorului de curent de secvență homopolară (TSH), de unde se obține tensiunea:

$$\underline{U} = R_S \cdot K_T \underline{I}^{S,d}_{dez} \qquad (8.1)$$

ca o cădere de tensiune pe rezistența de sarcină R_S de la bornele TSH.

Din interpretarea valorii mărimilor de ieşire Q_1, Q_2, Q_3 din comparatoarele de fază φ_1, φ_2,φ_3 se pot identifica patru stări ale tronsonului, de pe un distribuitor, aflat în aval de PT în care se lecturează stările puse în evidență de dispozitiv. In fig.8.4 mărimile Q_1,

Scanned with OKEN Scanner

Q_2,Q_3 s-au considerat prin valorile logice (0; 1), care au următoarea semnificaţie: zero când mărimile de intrare în comparator sunt în fază (punere la pământ pe o anumită fază R sau S sau T), respectiv unu, în caz contrar (punere la pământ pe altă fază) sau când una din mărimile de intrare este zero ($\underline{U}$=0, regim normal de funcţionare). Cele patru stări ale dispozitivului din fig.8.4 au următoarea semnificaţie:

- I, II, III - punere la pământ fermă respectiv pe faza R, S, T în aval.
- IV - inexistenţa unei puneri la pământ ferme în aval.

Conform metodei, pentru localizarea distribuitorului şi a fazei pe care s-a produs punerea la pământ, de exemplu în punctul K, distribuitor 1, fig.8.5, este necesară lecturarea stării dispozitivelor Ai_0 montate în ID-MT, pe capătul distribuitorilor alimentaţi din aceasta. Dintre acestea numai A_{10} se va afla în una din stările I, II, III, în funcţie de faza pe care s-a produs punerea la pământ, iar toate celelalte (n-1), de pe distribuitoarele sănătoase (A_{20}÷A_{n0}), se vor afla în starea IV.

Pentru localizarea tronsonului cu defect este necesară vizitarea, de către echipa de intervenţie, dinspre amonte spre aval a posturilor de transformare de pe distribuitorul cu defect, până se găseşte primul dispozitiv în starea IV(A_{12}, fig.8.5); concomitent se reiniţializează fiecare dispozitiv lecturat. Defectul se va afla pe tronsonul cuprins între ultimul dispozitiv aflat în una din stările I÷III(A_{11}) şi primul dispozitiv aflat în starea IV(A_{12}).

Evident, dacă transformatoarele din PT au grupa de conexiuni ΔY_0-11, dispozitivul (fig.8.4) trebuie să permită defazarea suplimentară cu π radiani a tensiunii $\underline{U}$, înainte de a o aplica comparatoarelor de fază φ_1, φ_2, φ_3.

Din cele de mai sus rezultă că prin controlul defazajelor, conform metodei propuse, cu dispozitive a căror schemă de principiu este cea din fig.8.4 montate pe capătul dinspre sursă al fiecărui tronson a RED-MT, se poate identifica existenţa unei puneri monofazate ferme (R_D=0) la pământ, în RED-MT cu neutrul izolat, după care se poate localiza distribuitorul, faza şi tronsonul dintre două posturi de transformare pe care s-a produs aceasta.Operaţia poate să dureze zeci de minute deoarece este necesară vizitarea posturilor de transformare de pe distribuitorul defect.

Scanned with OKEN Scanner

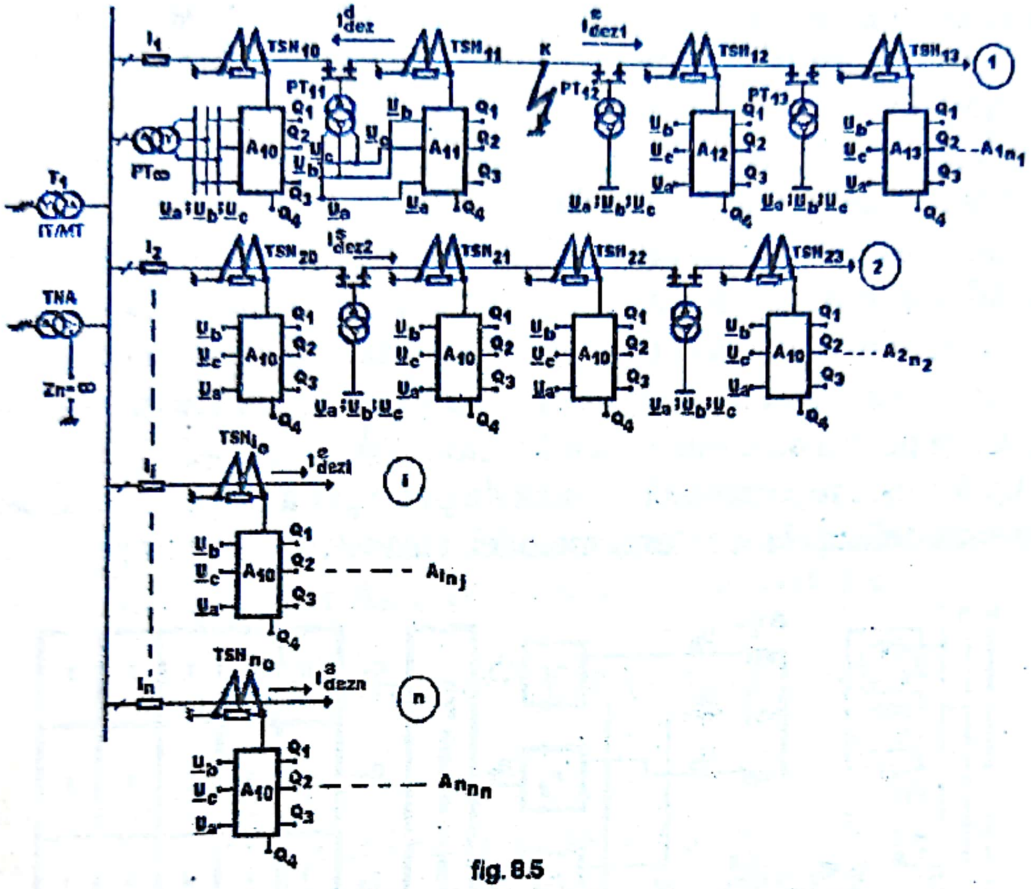


fig. 8.5

Această metodă de identificare şi localizare a punerilor la pământ se bazează pe controlul defazajelor, dintre mărimile menţionate, în regim stabilizat de punere la pământ. Este cunoscut, pe de o parte, că acest regim stabilizat este precedat de un regim tranzitoriu, care durează cel mult 40 ms [14], în care curentul $\underline{I}^{d}_{dez}$ are o frecvenţă şi o amplitudine cu valori mult mai mari decât cele de regim stabilizat [14; 38]. Pe de altă parte, în regim tranzitoriu defazajele $\varphi^{d,S}_{dez\ a,b,c}$, dintre tensiunile de fază $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$, care rămân practic sinusoidale şi tensiunea $\underline{U}$(8.1)(de regim tranzitoriu, cu frecvenţă mare şi variabilă în timp), vor avea valori variabile în timp şi diferite de la o fază la alta; ca urmare, pe durata regimului tranzitoriu, dispozitivul trebuie blocat cel puţin 40 ms, aceasta fiind durata maximă a unui regim tranzitoriu [14]; cât priveşte

Scanned with OKEN Scanner

valorile defazajelor din regim stabilizat de punere la pământ, acestea trebuiesc memorate pentru a permite localizarea tronsonului după deconectarea distribuitorului, prin lecturarea la faţa locului a dispozitivelor.

In acest scop, schema din fig.8.4 trebuie completată cu elemente care să sesizeze momentul producerii punerii la pământ, să măsoare timpul din momentul producerii defectului şi după un $\Delta t \geq 40$ ms, durata regimului tranzitoriu, să comande un element care să memoreze valorile defazajelor, din acel moment, controlate cu comparatoarele φ_1, φ_2, φ_3, valori care corespund regimului stabilizat de punere monofazată la pământ şi pentru care este valabilă metoda propusă.

In fig.8.6 este reprezentată schema de principiu a dispozitivului care controlează defazajele, conform metodei, cu aceleaşi trei comparatoare

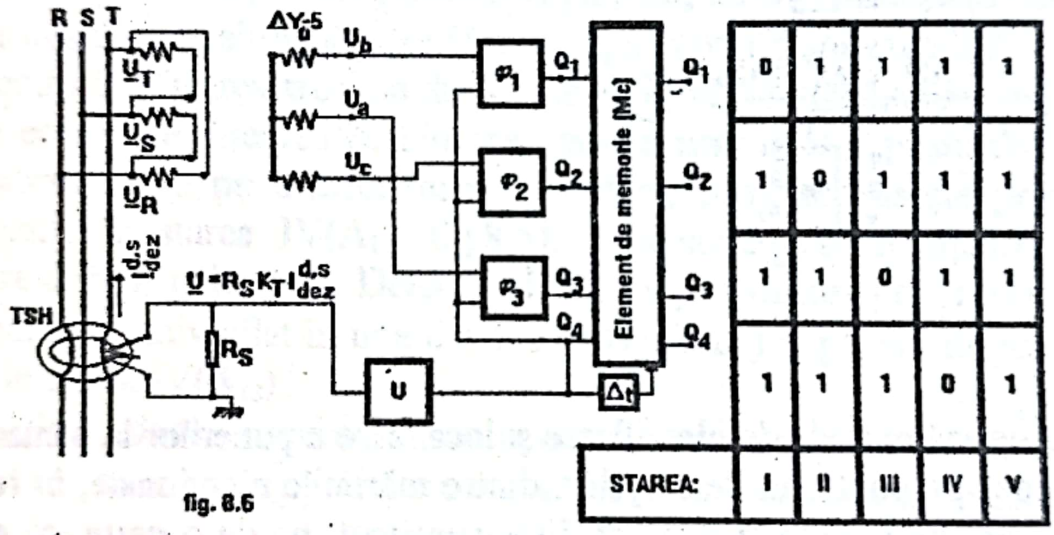


fig. 8.6

de fază φ_1, φ_2, φ_3 ca în fig.8.4. Pe lângă acestea schema conţine elementul de măsură (U), alimentat de la aceeaşi tensiune $\underline{U}$ determinată de curenţii de dezechilibru pe rezistenţa de sarcină R_S din secundarul TSH, elementul de temporizare (Δt) şi un element de memorie comandabil (M_c).

Elementul de măsură trebuie să identifice apariţia unei puneri la pământ pe seama tensiunii $\underline{U}$ (6.36) de regim tranzitoriu, fără a fi necesar să se asigure condiţii de selectivitate în scopul identificării distribuitorului cu defect (selectivitatea, conform metodei, este

Scanned with OKEN Scanner

asigurată pe seama valorilor unic determinate ale defazajelor $\varphi^{d,S}_{dez\ a,b,c}$ dintre curenţii de dezechilibru ($\underline{I}^{d,S}_{dez}$) şi tensiunile de fază $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$).

Totuşi, pentru ca dispozitivele care nu sunt parcurse de curentul $\underline{I}^{d}_{dez}$, amplasate pe distribuitorul cu defect în aval de locul cu defect şi în tot restul RED-MT ((n-1) distribuitoare, fig.8.5) să nu fie acţionate inutil, ceea ce ar necesita deplasarea echipei de intervenţie pentru a le reiniţializa, se impune ca elementul de măsură, cu care este echipat dispozitivul, să aibă valoarea de pornire:

$$U_{p_1} = K_{sig} \cdot R_S \cdot K_T \cdot I^{S}_{dez} \qquad (8.2)$$

In urma unei puneri la pământ (în punctul K, fig.8.5) elementele de măsură ale dispozitivelor A_{10} şi A_{11} sunt acţionate deoarece:

$$U = R_S \cdot K_T \cdot (n-1) \cdot I^{S}_{dez} = R_S \cdot K_T \cdot \underline{I}^{d}_{dez} > U_{p_1} \qquad (8.3)$$

dacă $n \geq 3$ şi pentru $K_{sig} < 2$.

In acest caz mărimea de ieşire a acestuia (Q_4) comandă elementul de temporizare Δt; după timpul $\Delta t \geq 40$ ms acesta comandă la rândul său elementul de memorie (M_c) care va memora valorile logice ale mărimilor de ieşire Q_1, Q_2, Q_3 din comparatoarele de fază φ_1, φ_2,φ_3, din acel moment, ce corespunde regimului stabilizat. Prin memorarea valorii mărimilor de ieşire Q_1, Q_2, Q_3 este posibilă lecturarea stării dispozitivelor de pe distribuitorul cu defect şi după deconectarea acestuia manual, de către operator sau automat; din aceleaşi motive se impune şi memorarea valorii logice a mărimii Q_4 de la ieşirea elementului de măsură (U); această memorare este necesară, aşa cum se va arăta şi pentru desensibilizarea dispozitivului faţă de alte tipuri de defecte.

Din interpretarea valorii celor patru mărimi $Q_1 \div Q_4$ se pot identifica, în acest caz, cinci stări ale tronsonului, de pe distribuitor, aflat în aval de postul de transformare în care este montat dispozitivul a cărui stare se lecturează şi anume:

Scanned with OKEN Scanner

- I, II, III, punere la pământ fermă, respectiv pe faza R, S, T, în aval;

- IV, inexistența unei puneri la pământ în aval. Aceasta este starea în care se află dispozitivele din tot restul rețelei ce nu se află pe traseul curentului $\underline{I}^{d}_{dez}$, ci pe cel al curentului $\underline{I}^{S}_{dez}$; în absența unei puneri la pământ toate dispozitivele din RED-MT se află deasemeni în starea IV.

Dacă din anumite motive elementul de măsură este acționat de curentul $\underline{I}^{S}_{dez}$, prin tensiunea determinată pe rezistența de sarcină R_S a TSH, atunci apare starea V: punere la pământ în amonte de PT în care se lecturează dispozitivul.

Pentru localizarea distribuitorului şi a fazei, în acest caz, se procedează ca în cazul anterior prin lecturarea stării dispozitivelor, mai întâi din ID-MT(A_{i0}, fig.8.5), iar apoi a dispozitivelor A_{1j} de pe distribuitorul (1) cu defect.

Adaptarea metodei de identificare şi localizare în cazul punerii monofazate la pământ prin rezistență de trecere ($R_D \neq 0$).

Cât privește diagramele fazoriale din fig.8.2 acestea au la bază ipoteza că punerea la pământ este fermă (R_D=0), pentru care defazajele $\varphi^{d,S}_{dez\,R,S,T}$ dintre curenții $\underline{I}^{d,S}_{dez\,R,S,T}$ şi tensiunea fazei $U_{R,S,T}$ (din RED-MT) pe care s-a produs punerea la pământ au întotdeauna valoarea de $\pm\frac{\pi}{2}$ radiani (tab.8.1).

Să analizăm însă cum se modifică defazajele menționate, în cazul general, respectiv când rezistența R_D ia valori în domeniul $(0;\infty)$. Pentru aceasta, în primul rând, trebuie analizat sistemul trifazat al tensiunilor de linie $\underline{U}_{SR}$, $\underline{U}_{TS}$, $\underline{U}_{RT}$ din RED-MT care prin intermediul tensiunilor de fază $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ din secundarul transformatoarelor din PT, reprezintă sistemul de referință, iar după aceea se va analiza variația curenților $\underline{I}^{d,S}_{dez\,R,S,T}$ (îndeosebi a defazajelor $\varphi^{d,S}_{dez\,R,S,T}$ ce se contolează conform metodei, ca funcții de variabila $R_D \in (0;\infty)$, în planul sistemului de referință (al tensiunilor).

Scanned with OKEN Scanner

Componentele simetrice ale tensiunilor în punctul K' fig.5.12, (respectiv K'_d, K'_i, K'_0, fig.5.10) se obţin din (5.29) şi (5.44) (pentru $Z_d=Z_i=0$).

$$\begin{aligned}
&\underline{U}_{K'_{dR}} = (3R_D - jX_{\Sigma 0}) \cdot \frac{1}{3} \underline{I}_{K_R} = \underline{U}_R \\
&\underline{U}_{K'_{iR}} = 0 \\
&\underline{U}_{K'_{0R}} = 3jX_{\Sigma 0} \cdot \frac{1}{3} \underline{I}_{K_R} = \frac{jX_{\Sigma 0}}{R_D - jX_{\Sigma 0}} \cdot \underline{U}_R = \frac{\underline{U}_R}{1 + 3j\omega C_0 R_D}
\end{aligned} \tag{8.4}$$

iar diferenţele de potenţial dintre conductoarele de fază (în K') şi pământ sunt:

$$\begin{aligned}
&\underline{U}_{K'_R} = \underline{U}_{K'_{dR}} + \underline{U}_{K'_{iR}} + \underline{U}_{K'_{0R}} = R_D \cdot \underline{I}_{K_R} \\
&\underline{U}_{K'_S} = a^2 \underline{U}_{K'_{dR}} + a\underline{U}_{K'_{iR}} + \underline{U}_{K'_{0R}} = \left[a^2(3R_D - jX_{\Sigma 0} + j3X_{\Sigma 0}\right] \frac{1}{3} \underline{I}_{K_R} \\
&\underline{U}_{K'_T} = a\underline{U}_{K'_{dR}} + a^2 \underline{U}_{K'_{iR}} + \underline{U}_{K'_{0R}} = \left[a(3R_D - jX_{\Sigma 0}) + j3X_{\Sigma 0}\right] \cdot \frac{1}{3} \underline{I}_{K_R}
\end{aligned} \tag{8.5}$$

respectiv, pe seama expresiei analitice a curentului $\underline{I}_{K_R}$(5.43) şi a relaţiilor (8.4) rezultă:

$$\begin{aligned}
&\underline{U}_{K'_R} = \underline{U}_R + \underline{U}_{K'_{0R}} \\
&\underline{U}_{K'_S} = a^2 \underline{U}_R + \underline{U}_{K'_{0R}} = \underline{U}_S + \underline{U}_{K'_{0R}} \\
&\underline{U}_{K'_T} = a\underline{U}_R + \underline{U}_{K'_{0R}} = \underline{U}_T + \underline{U}_{K'_{0R}}
\end{aligned} \tag{8.6}$$

Tensiunile de linie, în acelaşi punct K' (la care sunt racordate înfăşurările primare, conectate în triunghi, ale transformatoarelor de forţă din PT), rezultă din (8.5) şi (5.43) (unde $\underline{E}_R \cong \underline{U}_R$) şi au expresiile:

Scanned with OKEN Scanner

$$\underline{U}_{K'RS} = (\underline{U}_{K'R} - \underline{U}_{K'S}) = (1-a^2)(R_D - jX_{\Sigma 0}) \cdot \underline{I}_{KR} = (1-a^2)\underline{U}_R = \sqrt{3} \cdot \underline{U}_R^{\pi/6} = \underline{U}_{RS} \quad (8.7)$$

$$\underline{U}_{K'ST} = (\underline{U}_{K'S} - \underline{U}_{K'T}) = (a^2 - a)(R_D - jX_{\Sigma 0})\underline{I}_{KR} = -j\sqrt{3}\underline{U}_R = \underline{U}_{ST}$$

$$\underline{U}_{K'TR} = (\underline{U}_{K'T} - \underline{U}_{K'R}) = (a-1)(R_D - jX_{\Sigma 0})\underline{I}_{KR} = (a-1)\underline{U}_R = \underline{U}_{TR}$$

Deci, indiferent de valoarea rezistenței R_D și faza pusă la pământ, în ipotezele considerate, triunghiul tensiunilor din punctul K' (și din întreaga RED-MT) rămâne neschimbat însă, datorită variației tensiunii de secvență homopolară (6.2), fig.6.1, cu rezistența R_D se va modifica întreg sistemul trifazat al tensiunilor din RED-MT. Ca urmare, în continuare, pe seama variației tensiunii de secvență homopolară ($\underline{U}_{dd0}=3\underline{U}_{K'0}$, fig.6.1, (6.2÷6.4) să analizam tensiunile față de pământ ale conductoarelor (8.5) din RED-MT în cazul unei puneri la pământ, de exemplu pe faza R, prin $R_D \in (0;\infty)$.

In acest caz avem:

$$\begin{aligned} U_{K'R}(jR_D) &= U_{K'0R}(jR_D) + U_R \\ U_{K'S}(jR_D) &= U_{K'0R}(jR_D) + U_S \\ U_{K'T}(jR_D) &= U_{K'0R}(jR_D) + U_T \end{aligned} \quad (8.8)$$

Rezultă că, diferențele de potențial dintre fiecare conductor de fază și pământ (P) (în punctul K' și practic în toată RED-MT) vor avea o variație similară cu a tensiunii de secvență homopolară $\underline{U}_{K'0R}(jR_D) = \frac{1}{3}U_{dd0R}(jR_D)$(6.2), în ipoteza $\underline{U}_R$=ct; $\underline{U}_S$=ct; $\underline{U}_T$=ct.

In fig.8.7a s-au reprezentat, în planul complex, fazorii $U_{K'R}(jR_D), U_{K'S}(jR_D), U_{K'T}(jR_D)$ pe seama variației fazorului $U_{K'0R}(jR_D)$ fig.6.1, iar în fig.8.7b s-a reprezentat variația, în ansamblu, a sistemului trifazat de tensiuni din RED-MT, considerând rezistența R_D variabilă între zero și infinit, pe seama (8.6), (8.7) și a reprezentării din fig.6.1 și 8.7a, a tensiunii de secvență homopolară $U_{K'0R}(jR_D)$,

Scanned with OKEN Scanner

respectiv a tensiunilor (8.8); s-au reprezentat trei situaţii caracteristice şi anume:

- pentru $R_D=0$ (linie continuă),

$$U_{K'_R}(j0) = U^0_{K'_R} = U_{K'_{0R}}(j0) + U_R = U^0_{K'_{0R}} + U_R = 0 = -U_R + U_R = 0$$
$$U_{K'_S}(j0) = U^0_{K'_S} = U^0_{K'_R} + U_S = -U_R + U_S = U_{SR} = U_{SP}$$
$$U_{K'_T}(j0) = U^0_{K'_T} = U^0_{K'_{0R}} + U_T = -U_R + U_T = U_{TR} = U_{TP}$$

- pentru $R_D = R_{D_2}$ (linie întreruptă),

$$U_{K'_R}(jR_{D_2}) = U_{K'_{0R}}(jR_{D_2}) + U_R$$
$$U_{K'_S}(jR_{D_2}) = U_{K'_{0R}}(jR_{D_2}) + U_S$$
$$U_{K'_T}(R_{D_2}) = U_{K'_{0R}}(jR_{D_2}) + U_T$$

- pentru $R_D = \infty$ (linie punct),

$$U_{K'_R}(j\infty) = U^1_{K'_R} = U_{K'_{0R}}(j\infty) + U_R = U^1_{K'_{0R}} + U_R = 0 + U_R = U_R$$
$$U_{K'_S}(j\infty) = U^1_{K'_S} = U^1_{K'_{0R}} + U_S = U_S$$
$$U_{K'_T}(j\infty) = U^1_{K'_T} = U^1_{K'_{0R}} + U_T = U_T$$

Se constată, aşa cum s-a demonstrat analitic, că triunghiul tensiunilor rămâne neschimbat, în ansamblul său, pentru R_D variabil în domeniul $(0;\infty)$, dar se deplasează cu fiecare vârf al său pe semicercuri de rază $|U_R| = |U_S| = |U_T|$; poziţia punctului sau neutru se află pe semicercul ce constituie locul geometric al extremităţii fazorului $U_{K'_{0R}}(jR_D)$, fazor ce determină acest mod de variaţie al întregului ansamblu a sistemului trifazat de tensiuni dintr-o RED cu o punere monofazată la pământ; din acest motiv a fost trasat în mod diferit de celelalte (linie întreruptă).

Această concluzie face posibilă aplicarea metodei şi când rezistenţa R_D este variabilă, deoarece sistemul de referinţă ($\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$),

Scanned with OKEN Scanner

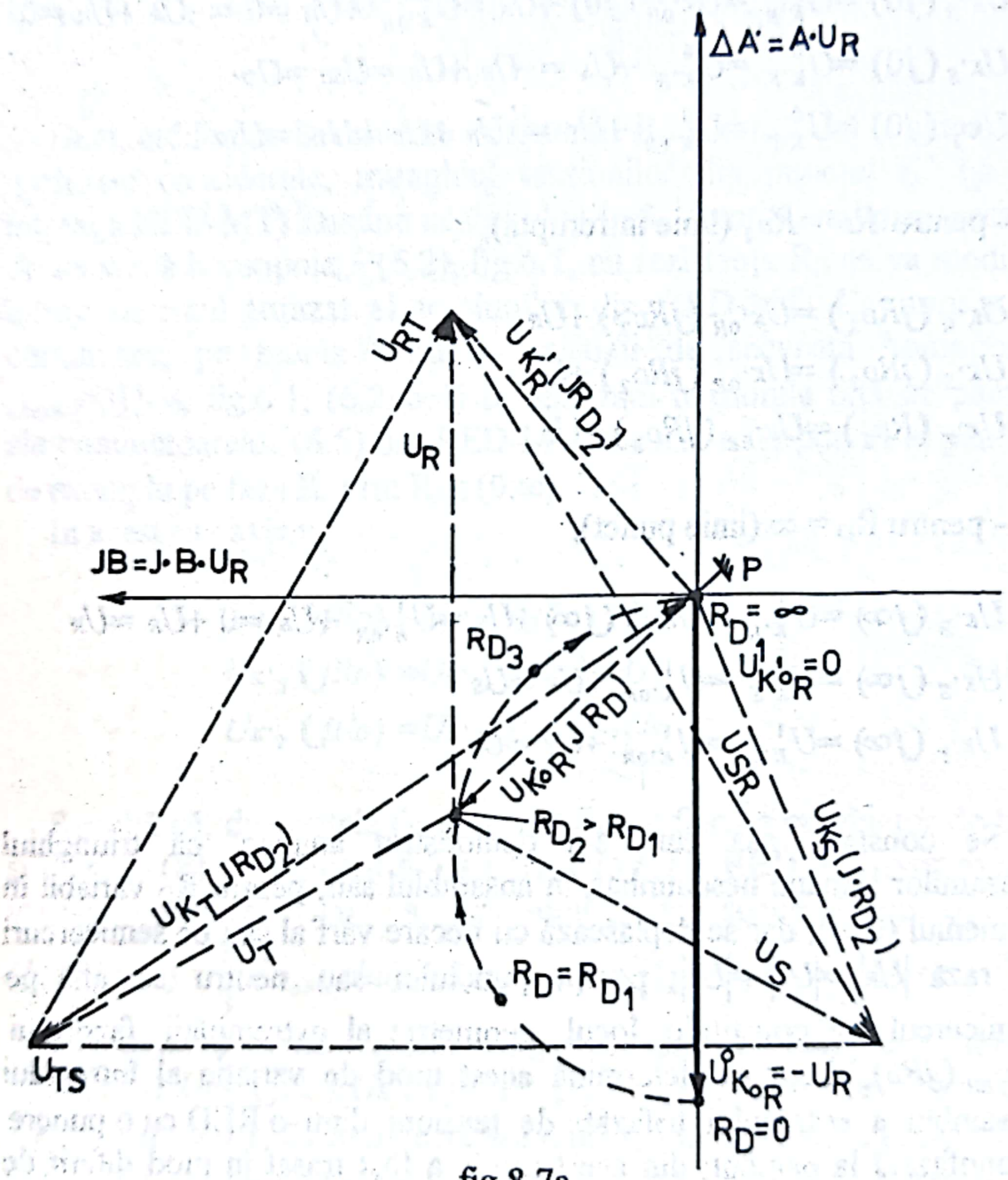


fig.8,7a

determinat de tensiunile de linie $\underline{U}_{SR}$, $\underline{U}_{TS}$, $\underline{U}_{RT}$ din RED-MT, rămâne neschimbat.

Scanned with OKEN Scanner

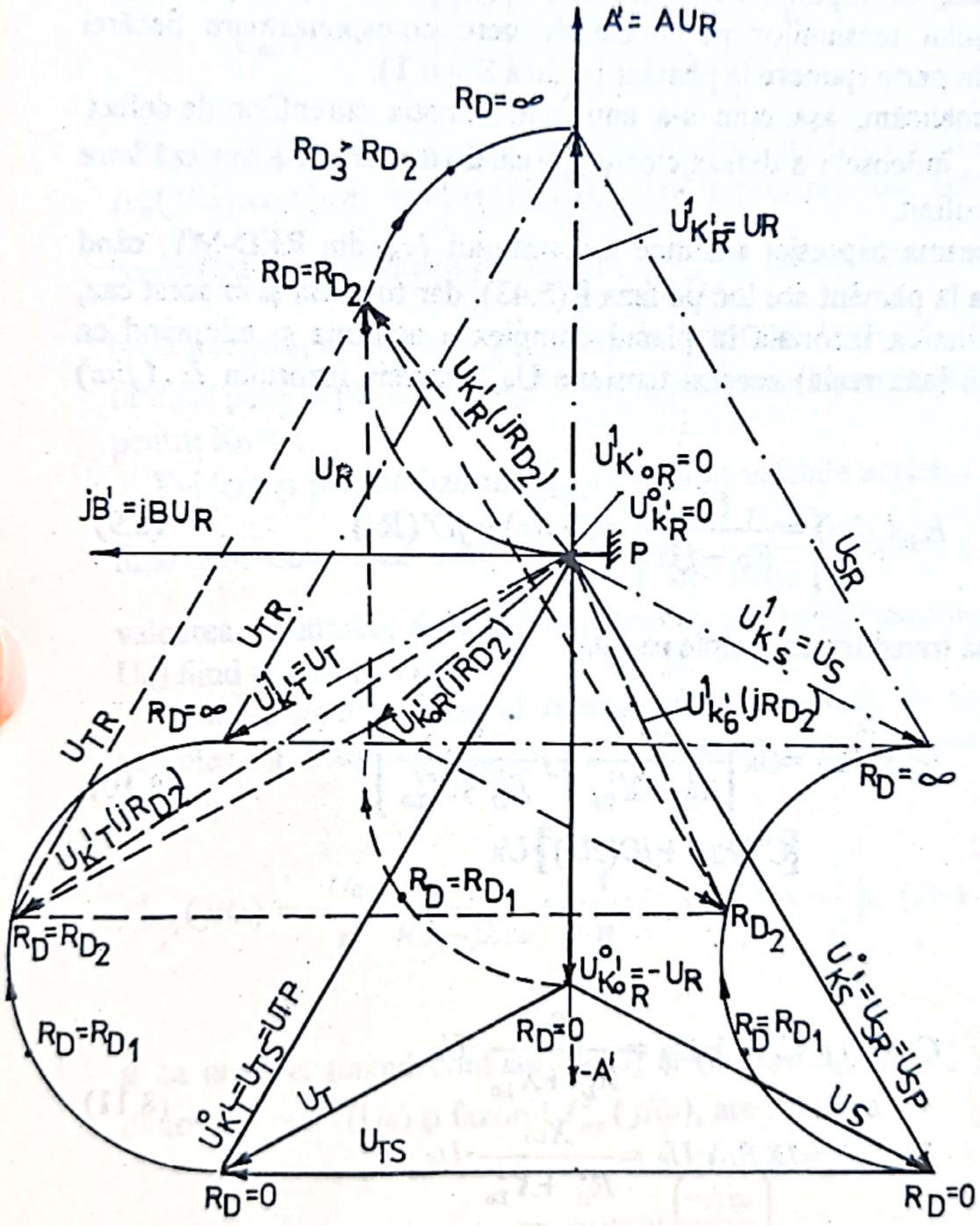


fig.8.7b

Scanned with OKEN Scanner

Evident, în cazul unei puneri monofazate la pământ pe o altă fază (S sau T) se vor obține pentru tensiunea de secvență homopolară $U_{K'0S}(jR_D)$ sau $U_{K'0T}(jR_D)$ variații similare, dar în raport cu referința, axa reală, corespunzătoare (U_S sau U_T), precum și deplasări ale triunghiului tensiunilor pe arcele de cerc corespunzătoare fiecărei situații în parte (punere la pământ pe faza S sau T).

Să analizăm, așa cum s-a anticipat, variația curenților de defect $\underline{I}_{pp}$, $\underline{I}_{dez}^{d,S}$, îndeosebi a defazajelor $\varphi_{dez}^{d,S}$, când rezistența R_D variază între zero și infinit.

Pe seama expresiei analitice a curentului $\underline{I}_{K_R}$ din RED-MT, când punerea la pământ are loc pe faza R(5.43), dar folosind și în acest caz, reprezentarea fazorială în planul complex a acestuia și adoptând ca referință (axa reală) aceeași tensiune U_R, expresia fazorului $I_{K_R}(jR_D)$ devine:

$$I_{K_R}(jR_D)=\frac{U_R}{R_D-jX_{\Sigma 0}}=C'(R_D)+jD'(R_D) \tag{8.9}$$

iar după transformări simple rezultă:

$$I_{K_R}(jR_D)=U_R\left[\frac{R_D}{R_D^2+X_{\Sigma 0}^2}+j\frac{X_{\Sigma 0}}{R_D^2+X_{\Sigma 0}^2}\right]= \tag{8.10}$$
$$\left[C'(R_D)+jD(R_D)\right]\cdot U_R$$

unde:

$$C'(R_D)=C(R_D)\cdot U_R=\frac{R_D}{R_D^2+X_{\Sigma 0}^2}\cdot U_R$$
$$D'(R_D)=D(R_D)\cdot U_R=\frac{X_{\Sigma 0}}{R_D^2+X_{\Sigma 0}^2}\cdot U_R \tag{8.11}$$

Notând cu $\varphi_{dez\,R}^{d}$ unghiul dintre axa reală (tensiunea U_R) și fazorul

Scanned with OKEN Scanner

$I_{K_R}(jR_D)$ deoarece, aşa cum s-a arătat curentul $\underline{I}_{K_R}$ are aceeaşi direcţie şi acelaşi sens ca şi $\underline{I}^{d}_{dez\,R}$, rezultă:

$$\varphi^{d}_{dez\,R} = arctg\left[\frac{X_{\Sigma 0}}{R_D}\right] = arctg\left[\frac{1}{R_D \cdot \omega C_{\Sigma 0}}\right] \qquad (8.12)$$

In fig. 8.8 este reprezentat locul geometric al extremităţii fazorului $I_{K_R}(jR_D)$,conform relaţiei (8.10), care reprezintă un semicerc cu centrul pe axa imaginară pozitivă în $\left[\frac{U_R}{2X_{\Sigma 0}}\right]$, tangent în origine la axa reală pozitivă, iar unghiul $\varphi^{d}_{dez\,R}(R_D)$, în raport cu tensiunea de fază U_R (a fazei pusă la pământ), ia valori între $\pi/2$ radiani pentru $R_D=0$ şi zero pentru $R_D=\infty$.

Evident şi pentru fazorul $\underline{I}^{d}_{dez\,R}(6.7)$ sunt valabile aceleaşi concluzii, fiind alta doar raza semicercului $\left[\frac{n-1}{n}\cdot\frac{U_R}{2X_{\Sigma 0}}\right]$, fig.8.8 , respectiv valoarea curentului; defazajul în raport cu axa reală (tensiunea de fază U_R) fiind acelaşi (8.12).

In mod similar, folosind reprezentarea fazorială, în acelaşi plan complex, a fazorului $I^{S}_{dez\,R}(jR_D)$, pe seama (5.39), (5.44), (5.44') rezultă:

$$I^{S}_{dez\,R}(jR_D) = \frac{U_R}{n}\cdot\frac{1}{R_D - jX_{\Sigma 0}} = \frac{1}{n}\cdot I_{K_R}(jR_D) = \frac{1}{n}\left[C'(R_D) + jD'(R_D)\right] \qquad (8.13)$$

şi ca urmare, ţinând cont de (8.10) şi (8.11) unghiul $\varphi^{S}_{dez\,R}$ (fig.8.8) dintre axa reală (U_R) şi fazorul $I^{S}_{dez}(jR_D)$, are expresia:

$$\varphi^{S}_{dez\,R} = \pi + \varphi'^{S}_{dez\,R} = \pi + arctg\left[\frac{-X_{\Sigma 0}}{-R_D}\right] \qquad (8.14)$$

Scanned with OKEN Scanner

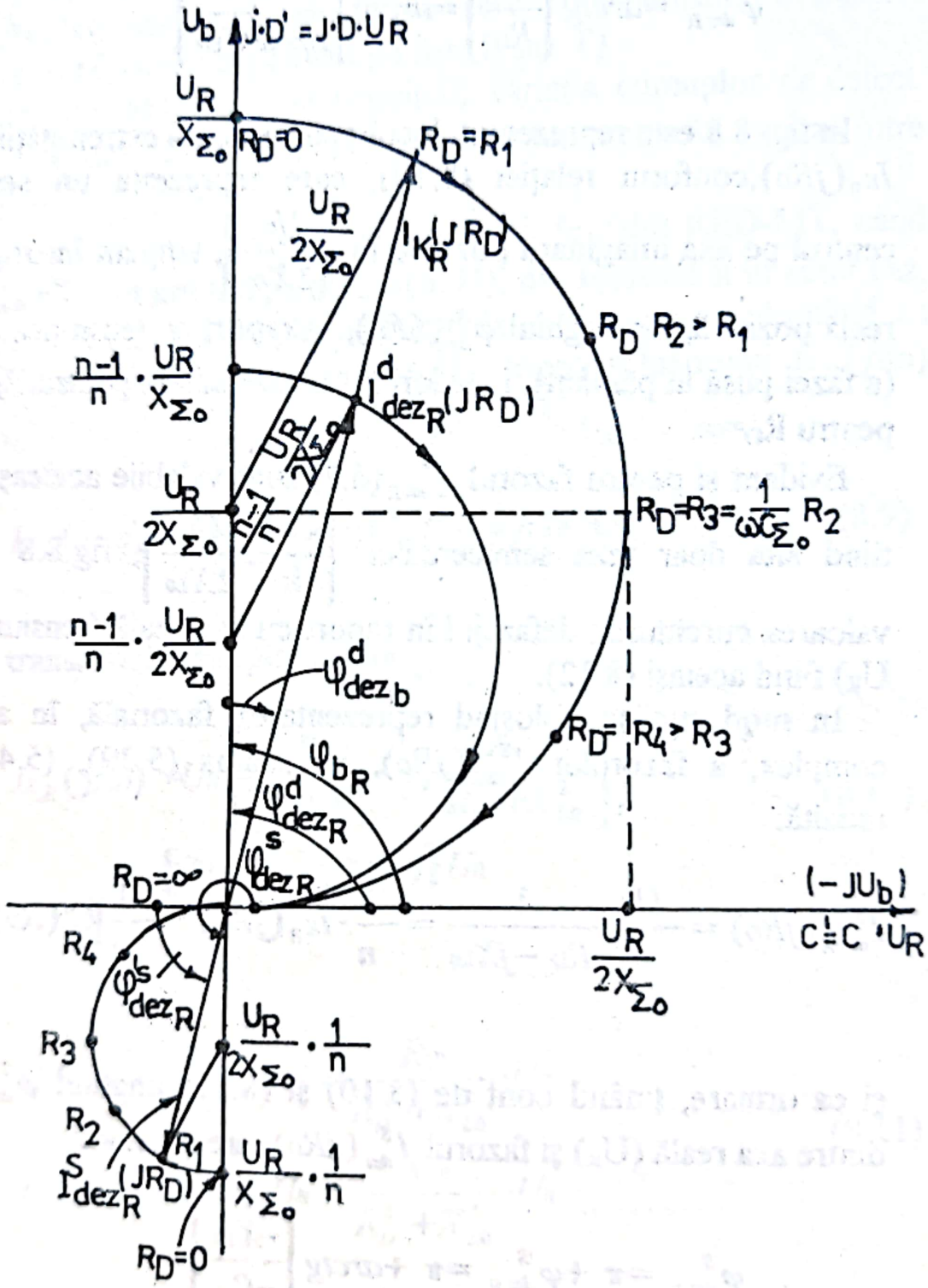


fig.8.8

Scanned with OKEN Scanner

iar pe seama (6.47) rezultă:

$$\varphi^{S}_{dez\,R} = \pi + \varphi^{d}_{dez\,R} \tag{8.15}$$

In fig. 8.8 s-a reprezentat şi locul geometric al extremităţii fazorului $I^{S}_{dez\,R}(jR_D)$, pentru $R_D \in (0;\infty)$, care reprezintă un semicerc cu centrul pe axa imaginară negativă, în $\left[\frac{-U_R}{2X_{\Sigma 0}} \cdot \frac{1}{n}\right]$, tangent în origine la axa reală negativă, iar unghiul $\varphi^{S}_{dez\,R}$ ia valori între $3\pi/2$ şi π radiani. In fig.8.8 s-a reprezentat şi direcţia tensiunii $U_b = jU_R/K$ (unde K este raportul de transformare al transformatorului din PT), la care se va face referire ulterior; defazajul dintre ele este, aşa cum s-a arătat, $\varphi_{b_R} = +\pi/2$ radiani (fig.8.2).

Cât priveşte fig.8.8 se poate considera că aceasta reprezintă diagrama fazorială a curenţilor $\underline{I}_{K\,R}, \underline{I}^{d}_{dez\,R}, \underline{I}^{S}_{dez\,R}$ cu defazajele $\varphi^{d}_{dez\,R}, \varphi^{S}_{dez\,R}$, dintre aceştia şi una din tensiunile de fază ($\underline{U}_R$), adoptată ca referinţă, din RED-MT. Defazajele acestor curenţi în raport cu celelalte două tensiuni de fază $\underline{U}_S$, $\underline{U}_T$, notate cu $\varphi^{d}_{dez\,S}, \varphi^{S}_{dez\,S}$ respectiv $\varphi^{d}_{dez\,T}, \varphi^{S}_{dez\,T}$ se obţin prin adunarea la defazajele $\varphi^{d}_{dez\,R}, \varphi^{S}_{dez\,R}$ a unghiurilor $2\pi/3$, respectiv $4\pi/3$ radiani.

Conform metodei însă, aşa cum s-a reprezentat în fig. 8.2a pentru cazul $R_D=0$, pe de o parte, se controlează numai curenţii $\underline{I}^{d}_{dez\,R}(R_D)$ şi $\underline{I}^{S}_{dez\,R}(R_D)$, iar pe de altă parte, se controlează defazajele $\varphi^{d}_{dez\,a,b,c}$, respectiv $\varphi^{S}_{dez\,a,b,c}$ ale acestor curenţi în raport cu tensiunile de fază $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ din secundarul transformatoarelor din PT, alimentate din RED-MT, care în raport cu tensiunile de fază $\underline{U}_T$, $\underline{U}_R$, $\underline{U}_S$ sunt defazate cu unghiurile $\varphi_{bR} = \varphi_{cS} = \varphi_{a_T} = \pm\pi/2$ radiani, în funcţie de grupa de conexiuni a transformatoarelor din PT.

Ca urmare, valorile defazajelor $\varphi^{d}_{dez\,a,b,c}, \varphi^{S}_{dez\,a,b,c}$ se pot obţine, pentru cazul analizat anterior (punere la pământ pe faza R), din relaţiile (8.9)

Scanned with OKEN Scanner

şi (8.13) prin schimbarea de referinţă $U_b=jU_R/K$ sau, în cazul general, direct prin luarea în considerare a defazajelor $\varphi_{bR}=\varphi_{cS}=\varphi_{aT}$ dintre tensiunile $\underline{U}_R$ şi $\underline{U}_b$, $\underline{U}_S$ şi $\underline{U}_c$ şi $\underline{U}_T$ şi $\underline{U}_a$ (fig.8.2) astfel:

$$\begin{aligned}
&\varphi^d_{dezb}=\varphi^d_{dezR}-\varphi_{bR} \quad ; \quad \varphi^S_{dezb}=\varphi^S_{dezR}-\varphi_{bR}\\
&\varphi^d_{dezc}=\varphi^d_{dezS}-\varphi_{cS} \quad ; \quad \varphi^S_{desc}=\varphi^S_{dezS}-\varphi_{cS}\\
&\varphi^d_{deza}=\varphi^d_{dezT}-\varphi_{aT} \quad ; \quad \varphi^S_{deza}=\varphi^S_{dezT}-\varphi_{aT}
\end{aligned} \tag{8.16}$$

Se păstrează aceeaşi regulă cu privire la măsurarea unghiurilor, ca la tab.8.1.

In fig.8.9a sunt reprezentate diagramele fazoriale ale tensiunilor de fază $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ (corespunzător grupei de conexiuni ΔY_o-5,

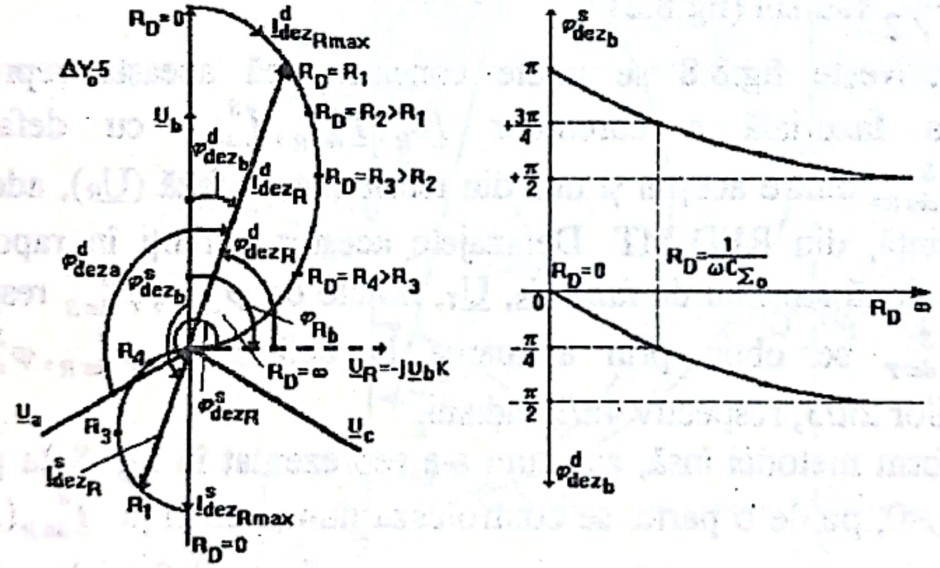


fig. 8.9 - (a,b)

fig.8.2), care reprezintă sistemul de referinţă şi ale curenţilor $\underline{I}^d_{dezR}(R_D)$ şi $\underline{I}^S_{desR}(R_D)$ (în cazul unei puneri monofazate la pământ pe faza R din RED-MT); s-a reprezentat (cu linie întreruptă) şi tensiunea de fază $\underline{U}_R$, din RED-MT (referinţa din fig.8.8), defazată cu $\varphi_{Rb}=-\varphi_{bR}=-\pi/2$ radiani faţă de $\underline{U}_b$.

In fig.8.9b s-a reprezentat variaţia defazajelor φ^d_{dezR} şi φ^S_{dezR} pentru $R_D\in(0;\infty)$.

Scanned with OKEN Scanner

Defazajele $\varphi^{d}_{dez\,c,a}$ şi $\varphi^{S}_{dez\,c,a}$ ale curenţilor $\underline{I}^{d}_{dez\,R}$ şi $\underline{I}^{S}_{dez\,R}$ faţă de celelalte tensiuni de fază $\underline{U}_c$ şi $\underline{U}_a$ variază şi ele când R_D ia valori în domeniul $(0;\infty)$; dacă în tab.8.1a s-au sintetizat valorile pentru cazul limită $R_D=0$, în tab.8.2a s-au sintetizat valorile acestor defazaje pentru celălalt caz limită $R_D=\infty$.

TENSIUNI	$\underline{U}_R$	$\underline{U}_S$	$\underline{U}_T$	ΔY_0-5			ΔY_0-11		
				$\underline{U}_a$	$\underline{U}_b$	$\underline{U}_c$	$\underline{U}_a$	$\underline{U}_b$	$\underline{U}_c$
defazaje / curenţi	$\varphi^{d}_{dez_R}$	$\varphi^{d}_{dez_S}$	$\varphi^{d}_{dez_T}$	φ^{d}_{deza}	φ^{d}_{dezb}	φ^{d}_{dezc}	φ^{d}_{deza}	φ^{d}_{dezb}	φ^{d}_{dezc}
$\underline{I}^{d}_{dez_R}$	0	$+\frac{2\pi}{3}$	$-\frac{2\pi}{3}$	$+\frac{5\pi}{6}$	$-\frac{\pi}{2}$	$-\frac{\pi}{6}$	$+\frac{\pi}{6}$	$-\frac{\pi}{6}$	$-\frac{5\pi}{6}$
defazaje / curenţi	$\varphi^{s}_{dez_R}$	$\varphi^{s}_{dez_S}$	$\varphi^{s}_{dez_T}$	φ^{s}_{deza}	φ^{s}_{dezb}	φ^{s}_{dezc}	φ^{s}_{deza}	φ^{s}_{dezb}	φ^{s}_{dezc}
$\underline{I}^{s}_{dez_R}$	$-\pi$	$-\frac{\pi}{3}$	$+\frac{\pi}{3}$	$-\frac{\pi}{6}$	$+\frac{\pi}{2}$	$+\frac{5\pi}{6}$	$+\frac{5\pi}{6}$	$-\frac{\pi}{2}$	$+\frac{\pi}{6}$

PUNERE LA PAMINT PE FAZA R

tab. 8.2 - [a]

TENSIUNI	$\underline{U}_R$	$\underline{U}_S$	$\underline{U}_T$	ΔY_0-5			ΔY_0-11		
				$\underline{U}_a$	$\underline{U}_b$	$\underline{U}_c$	$\underline{U}_a$	$\underline{U}_b$	$\underline{U}_c$
defazaje / curenţi	$\varphi^{d}_{dez_R}$	$\varphi^{d}_{dez_S}$	$\varphi^{d}_{dez_T}$	φ^{d}_{deza}	φ^{d}_{dezb}	φ^{d}_{dezc}	φ^{d}_{deza}	φ^{d}_{dezb}	φ^{d}_{dezc}
$\underline{I}^{d}_{dez_S}$	$-\frac{2\pi}{3}$	0	$+\frac{2\pi}{3}$	$+\frac{\pi}{6}$	$+\frac{5\pi}{6}$	$-\frac{\pi}{2}$	$-\frac{\pi}{6}$	$-\frac{\pi}{6}$	$+\frac{\pi}{2}$
defazaje / curenţi	$\varphi^{s}_{dez_R}$	$\varphi^{s}_{dez_S}$	$\varphi^{s}_{dez_T}$	φ^{s}_{deza}	φ^{s}_{dezb}	φ^{s}_{dezc}	φ^{s}_{deza}	φ^{s}_{dezb}	φ^{s}_{dezc}
$\underline{I}^{s}_{dez_S}$	$+\frac{\pi}{3}$	$-\pi$	$-\frac{\pi}{3}$	$+\frac{5\pi}{6}$	$+\frac{\pi}{6}$	$+\frac{\pi}{2}$	$+\frac{\pi}{6}$	$+\frac{\pi}{6}$	$-\frac{\pi}{2}$

PUNERE LA PAMINT PE FAZA S

tab. 8.2 - [b]

Evident, în cazul unei puneri la pământ pe faza S sau T defazajele $\varphi^{d}_{dez\,a,b,c}$ şi $\varphi^{S}_{dez\,a,b,c}$ vor avea alte valori, în funcţie de faza pusă la

Scanned with OKEN Scanner

TENSIUNI	$\underline{U}_R$	$\underline{U}_S$	$\underline{U}_T$	ΔY_0-5			ΔY_0-11		
				$\underline{U}_a$	$\underline{U}_b$	$\underline{U}_c$	$\underline{U}_a$	$\underline{U}_b$	$\underline{U}_c$
defazaje	φ_{pp_R}	φ_{pp_S}	φ_{pp_T}	$\varphi'_{pp_a}=\varphi_T$	$\varphi'_{pp_b}=\varphi_R$	$\varphi'_{pp_c}=\varphi_S$	$\varphi'_{pp_a}=\varphi_T$	$\varphi'_{pp_b}=\varphi_R$	$\varphi'_{pp_c}=\varphi_S$
$\underline{U}'_t=R_S K_T \underline{I}_{pp_T}$	$+\frac{2\pi}{3}$	$-\frac{2\pi}{3}$	0	$-\frac{\pi}{2}$	$+\frac{\pi}{6}$	$+\frac{5\pi}{6}$	$+\frac{\pi}{2}$	$-\frac{5\pi}{6}$	$-\frac{\pi}{6}$
defazaje	—	—	—	φ_{pp_a}	φ_{pp_b}	φ_{pp_c}	φ_{pp_a}	φ_{pp_b}	φ_{pp_c}
$\underline{U}_t$	—	—	—	0	$+\frac{2\pi}{3}$	$-\frac{2\pi}{3}$	π	$-\frac{\pi}{3}$	$+\frac{\pi}{3}$
$(-\underline{U}_t)$	—	—	—	$-\pi$	$-\frac{\pi}{3}$	$+\frac{\pi}{3}$	0	$+\frac{2\pi}{3}$	$-\frac{2\pi}{3}$

PUNERE MONOFAZATA LA PAMINT PE FAZA T
tab. 8.3 - (c)

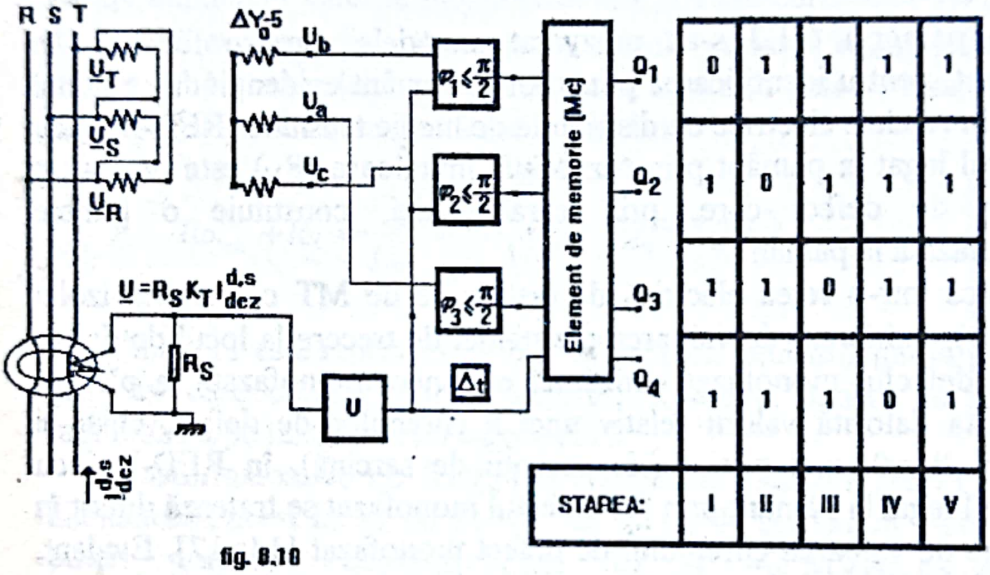
pământ. In tab.8.2b şi 8.2c s-au sintetizat valorile acestor defazaje pentru cazul limită $R_D=\infty$, considerând punerea la pământ pe faza S sau T (pentru cazul $R_D=0$ valorile defazajelor sunt sintetizate în tab.8.1b şi 8.1c).

Rezultă că defazajele curenţilor de dezechilibru $\underline{I}^d_{dez}$ şi $\underline{I}^S_{dez}$ în raport cu tensiunile de fază $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ sunt diferite şi unic determinate pentru orice valoare a rezistenţei de trecere R_D, în funcţie şi de faza pe care s-a produs punerea la pământ. Astfel este posibilă identificarea existenţei unei puneri la pământ şi localizarea selectivă a distribuitorului, a fazei şi a tronsonului dintre două PT, ale distribuitorului pe care s-a produs aceasta, prin controlul defazajelor $\varphi^d_{dez\,a,b,c}$ şi $\varphi^S_{dez\,a,b,c}$.

In fig.8.10 este prezentată schema de principiu a dispozitivului care permite identificarea unei puneri la pământ prin rezistenţă R_D şi localizarea distribuitorului, a fazei şi a tronsonului dintre două PT, ale distribuitorului, pe care aceasta s-a produs. Datorită influenţei valorii rezistenţei R_D asupra defazajelor dintre mărimile de intrare în comparatoarele de fază ($\varphi^{d,S}_{dez\,b}$ în φ_1, $\varphi^{d,S}_{dez\,c}$ în φ_2, , $\varphi^{d,S}_{dez\,a}$ în φ_3) acestea trebuiesc astfel realizate încât mărimile de ieşire Q_1, Q_2, Q_3 să aibă valoarea logică zero când defazajul dintre mărimile de intrare este cuprins în domeniul $(0;\pi/2)$ radiani, respectiv unu, în caz contrar sau

Scanned with OKEN Scanner

când una din mărimile de intrare este zero. Semnificaţia celor cinci stări ale mărimilor de ieşire ale dispozitivului este aceeaşi ca în cazul schemei din fig.8.6. Evident, operaţia de localizare se desfăşoară aşa cum s-a arătat anterior.



Q_1	0	1	1	1	1
Q_2	1	0	1	1	1
Q_3	1	1	0	1	1
Q_4	1	1	1	0	1
STAREA:	I	II	III	IV	V

fig. 8.10

Scanned with OKEN Scanner

8.1.2. Punere monofazată la pământ prin rezistenţă (R_D) mare în RED-MT cu neutrul legat la pământ prin rezistenţă limitatoare (R_N).

In paragraf 6.1.3 s-au prezentat metodele care se folosesc, în prezent, pentru identificarea punerilor la pământ evidenţiindu-se faptul că şi în reţelele electrice de distribuţie de medie tensiune (RED-MT) cu neutrul legat la pământ prin rezistenţă limitatoare (R_N) este definit un regim de defect care, prin caracteristici, constituie o punere monofazată la pământ.

Dacă într-o reţea electrică de distribuţie de MT cu neutrul izolat ($Z_N=\infty$), indiferent de valoarea rezistenţei de trecere la locul de defect (R_D), defectul monofazat constituia o punere monofazată la pământ (aceasta datorită valorii relativ mici a curenţilor de defect, chiar şi pentru $R_D=0$, mai mici decât curenţii de sarcină), în RED-MT cu neutrul legat la pământ prin R_N defectul monofazat se tratează diferit în funcţie de valoarea curentului de defect monofazat [14; 17]. Evident, valoarea acestui curent (5.53) depinde (pentru o RED-MT dată, cu parametrii Z_d^{TL}, Z_i^{TL}, Z_0^{TL}, R_N) de valoarea rezistenţei de trecere la locul cu defect (R_D).

Metodele şi mijloacele actuale cu care se identifică defectul monofazat în RED-MT cu neutrul legat la pământ prin rezistenţă limitatoare (R_N) s-au prezentat în paragraf.6.1.3 şi 7.2.1.3, în mod diferenţiat, pentru scurtcircuit monofazat şi pentru punere monofazată la pământ.

Delimitarea celor două tipuri de defect monofazat se face, în condiţiile actuale [14], prin valoarea curentului de pornire I_{pp_h} a protecţiei maximale homopolare de curent. Această valoare este cuprinsă între (100÷150)A în RED-MT cu LES şi între (60÷80)A în cele cu LEA.

Acestea sunt deci cele mai mici valori ale curentului de scurtcircuit monofazat $I_{K_{min}}$ (5.53) dintr-o RED-MT cu neutrul legat la pământ, care mai pot fi identificate de protecţia homopolară maximală de curent $I_{pp_h} \leq I_{K_{min}}$; totodată acest curent ($I_{K_{min}}$) reprezintă şi valoarea

Scanned with OKEN Scanner

maximă a curentului de punere monofazată la pământ, pe care în continuare îl notăm $\underline{I}_{pp_{max}}$.

Pentru o rețea de distribuție cu parametrii electrici $Z_d^{TL}, Z_i^{TL}, Z_0^{TL}$, din (5.53) impunând valorile menționate mai sus ale curentului $\underline{I}_{pp_{R\,max}}$ și R_N rezultă expresia din care se poate calcula valoarea R_{Dlim}, definită în paragraf.6.1.3 care delimitează cele două tipuri de defecte monofazate dintr-o RED-MT cu neutrul legat la pământ:

$$R_{D_{lim}} + R_N = \frac{\underline{U}_R}{\underline{I}_{pp_{R\,max}}} - \frac{1}{3}\left(Z_d^{TL} + Z_i^{TL} + Z_0^{TL}\right) \qquad (8.17)$$

In fig 8.11 este reprezentată o RED-MT cu neutrul legat la pământ prin R_N care conține doi distribuitori și are o punere la pământ monofazată pe faza R a distribuitorului 2.

Transformatoarele de forță, din stațiile de transformare (T_1) care alimentează acest tip de RED-MT, au grupa de conexiuni Y_0Y_0-12 și puteri nominale cuprinse între 10 și 40 MVA; ca urmare parametrii Z_d^T, Z_i^T, Z_0^T corespunzători acestor puteri au valori cuprinse între (2,4÷0,6)Ω.

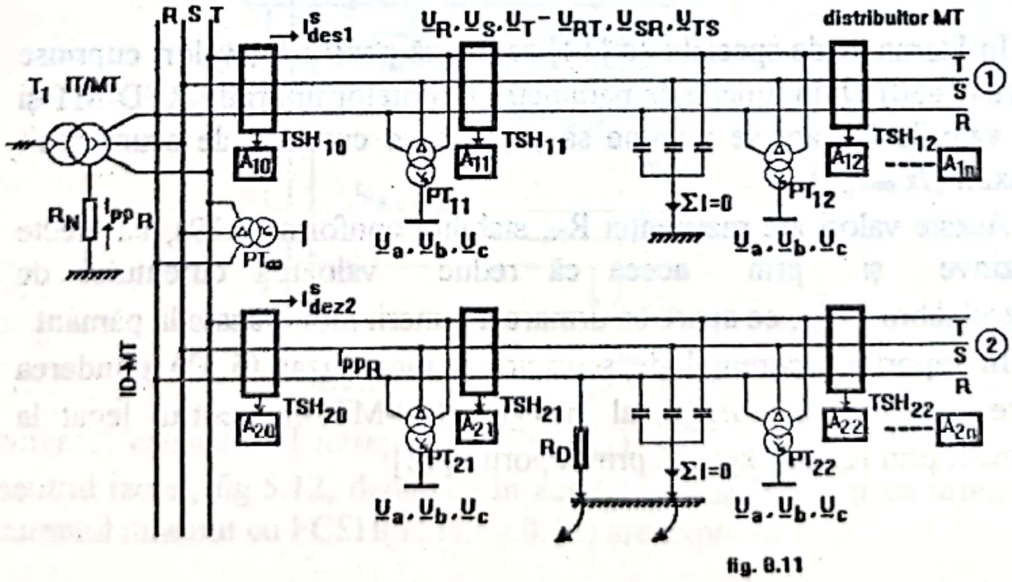


fig. 8.11

Scanned with OKEN Scanner

Dacă neutrul transformatorului (lor) din staţia de transformare ar fi legat direct la pământ (R_N=0), atunci valoarea maximă a curentului de scurtcircuit monofazat se obţine în cazul unui defect ferm (R_D=0) pe barele ID-MT şi se calculează pe baza (5.53):

$$\underline{I}_{K\,R\max} = \frac{3\underline{U}_R}{Z_d^T + Z_i^T + Z_0^T} \qquad (8.18)$$

Valorile mari ale acestui curent, prin efectele negative ce le determină, au impus limitarea lui prin introducerea rezistenţei limitatoare ($R_N \neq 0$) pe legătura la pământ a neutrului transformatorului de forţă din staţia de transformare, fig.8.11. Pentru o RED-MT, rezistenţa R_N are o valoare fixă, care pentru parametrii Z_d^T, Z_i^T, Z_0^T şi valoarea curentului $\underline{I}_{K\,R\,\max\,\lim}$, la care se impune a fi limitat curentul de scurtcircuit monofazat, rezultă din (8.17), în funcţie şi de tensiunea reţelei, pentru $R_D = 0$:

$$R_N = \frac{\underline{U}_R}{\underline{I}_{K\,R\max\,\lim}} - \frac{1}{3}(Z_d^T + Z_i^T + Z_0^T) \qquad (8.19)$$

In literatura de specialitate [14] se indică pentru R_N valori cuprinse între (2÷50) Ω, în funcţie de parametrii diferitelor tipuri de RED-MT şi de valorile la care se impune să se limiteze curentul de scurtcircuit maxim ($I_{K\,\max\,\lim}$).

Aceste valori ale rezistenţei R_N, stabilite conform (8.19), au efecte pozitive şi prin aceea că reduc valoarea curentului de dezechilibru $\underline{I}_{dez}^S$, ce apare ca urmare a punerii monofazate la pământ.

In raport cu curentul de scurtcircuit monofazat (5.53) ponderea curentului capacitiv $n\underline{I}_{dez}^S$, al întregii RED-MT cu neutrul legat la pământ prin R_N, se exprimă prin raportul [14]:

Scanned with OKEN Scanner

$$\beta = \frac{|\underline{I}_{K_R}|}{|\underline{I}_{K_R} + n\underline{I}^S_{dez}|} \qquad (8.20)$$

unde n reprezintă numărul de distribuitori ai RED-MT, consideraţi de lungimi egale.

Acest raport are valori cuprinse între 0,9 şi 0,95, deci valoarea curentului de încărcare capacitivă al întregii RED-MT reprezintă cel mult 10% din curentul de defect monofazat într-o reţea cu neutrul legat la pământ.

Raportul β (8.20) exprimă influenţa curentului capacitiv al întregii reţele ($n\underline{I}^S_{dez}$) asupra curentului de defect monofazat care circulă pe circuitul de legare la pământ al neutrului transformatorului de forţă din staţia de transformare , fig.8.12.

Conform metodei ce urmează a fi prezentată acest curent nu se mai controlează, iar în RED-MT cu neutrul legat la pământ, pe faza pusă la pământ fig.8.12, între locul cu defect şi barele ID-MT nu mai circulă

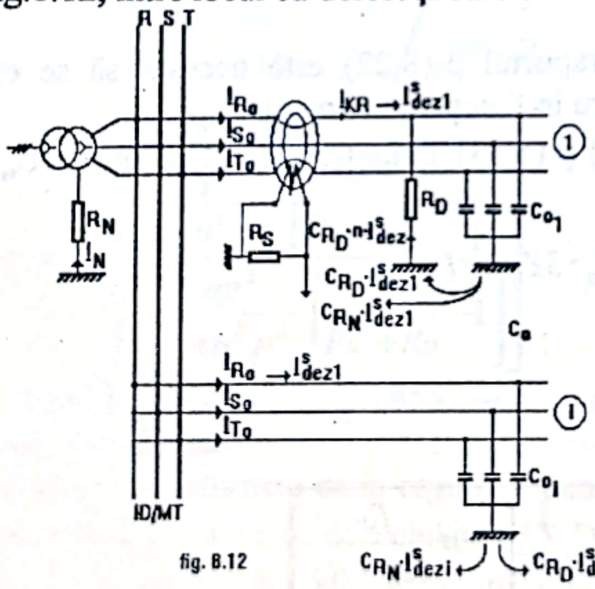


fig. 8.12

curentul capacitiv al întregii reţele ($n\underline{I}^S_{dez}$), ca în cazul RED-MT cu neutrul izolat, fig.5.12, deoarece în acest caz $R_{Dlim} >> R_N$ şi ca urmare curentul măsurat cu FCSH(TSH,fig.8.12) are expresia:

Scanned with OKEN Scanner

$$\underline{I}_{dez}^{d} = \underline{I}_{K_R} + \underline{I}_{dez\,1}^{S} + C_{R_D} \cdot n\, \underline{I}_{dez}^{S} \tag{8.21}$$

Ca urmare raportul β_d, definit în acest caz [17] are expresia:

$$\beta_d = \frac{\left|\underline{I}_{K_R}\right|}{\left|\underline{I}_{K_R} + \underline{I}_{dez\,1}^{S} + C_{R_D} \cdot n\, \underline{I}_{dez}^{S}\right|} \tag{8.22}$$

unde C_{R_D}, reprezintă coeficientul de repartiție, care pune în evidență cât din curentul de încărcare capacitivă al RED-MT se întoarce prin rezistența R_D.

Ținând cont că în regim de defect monofazat prin $R_D > R_{Dlim}$, impedanța de secvență homopolară Z_0(5.34) devine:

$$Z_0 = \frac{Z_0^{TL} + 3R_N}{1 + Y_{0_f}(Z_0^{TL} + 3R_N)} \cong \frac{3R_N}{1 + j3R_N \cdot n \cdot \omega \cdot C_0} \tag{8.23}$$

Pentru a calcula raportul β_d(8.22) este necesar să se explicitezе curenții de dezechilibru în funcție de curentul $\underline{I}_{K_R}$.

Din expresia (5.39) şi (5.53), în ipoteza $R_D > R_{Dlim}$, $R_D >> R_N$, rezultă:

$$\underline{I}_{dez}^{S} = -j\omega C_0 \cdot 3Z_0 \cdot \frac{1}{3}\underline{I}_{K_R} \tag{8.24}$$

Ca urmare:

$$\beta_d = \frac{1}{\left|1 - j\omega C_0 Z_0 \left[1 - n\frac{R_N}{R_N + R_D}\right]\right|} \tag{8.25}$$

Notând $3R_N\omega C_0 = p$, explicitând pe Z_0(8.23), după câteva transformări se obține:

Scanned with OKEN Scanner

$$\beta_d = \frac{1}{\sqrt{\left[1+\frac{np^2}{1+n^2p^2}\left(\frac{nR_N}{R_N+R_D}-1\right)\right]^2+\left[\frac{p}{1+n^2p^2}\left(\frac{nR_N}{R_N+R_D}-1\right)\right]^2}} \quad (8.26)$$

Se constată că valoarea raportului β_d depinde de parametrii rețelei prin $p=3\omega C_0 R_N=ct$ şi variază în funcție de valoarea rezistenței de trecere la locul cu defect (R_D).

Valoarea minimă a raportului β_d se obține pentru $R_D=R_{Dlim}$ şi un *n* cât mai mare (RED-MTcât mai extinsă) şi este de 0,98.

Pentru abaterea unghiulară δ_c, fig.8.13 rezultă expresia:

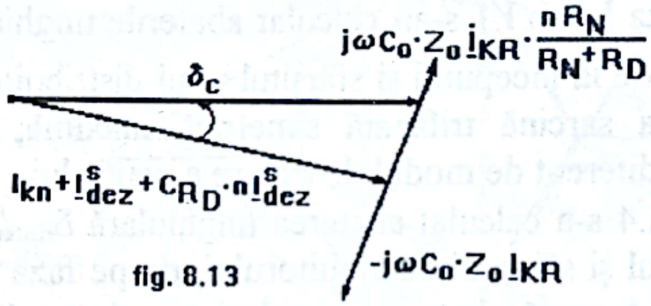


fig. 8.13

$$\delta_c = arctg\left[\frac{\frac{p}{1+n^2p^2}\left(\frac{nR_N}{R_N+R_D}-1\right)}{1+\frac{np^2}{1+n^2p^2}\left(\frac{nR_N}{R_N+R_D}-1\right)}\right] \quad (8.27)$$

Valoarea maximă a unghiului $\delta_c=0{,}855°$ se obține pentru $R_D=R_{Dlim}$ şi valori cât mai mari ale lui *n*.

Ca urmare, se poate considera că în regim de punere monofazată la pământ prin $R_D \geq R_{Dlim}$ curentul de dezechilibru $\underline{I}^S_{dez}$ este practic nul în raport cu $\underline{I}_K=\underline{I}_{pp}$ - curentul de punere monofazată la pământ într-o RED-MT cu neutrul legat la pământ prin rezistență (R_N) şi ca urmare va fi neglijat.

Urmărind posibilitatea aplicării metodei bazate pe controlul defazajelor, prezentată în subcap.8.1.1 şi pentru identificarea şi

Scanned with OKEN Scanner

localizarea unei puneri la pământ într-o RED-MT cu neutrul legat la pământ prin rezistenţă limitatoare (R_N), în cele ce urmează se va arăta că acest lucru este posibil.

Aşa cum se cunoaşte, metoda prezentată în subcap.8.1.1 foloseşte ca sistem de referinţă tensiunile de fază $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ din secundarul transformatoarelor din posturile de transformare (PT) deoarece, în regim de punere monofazată la pământ în RED-MT cu neutrul izolat, acestea rămân neschimbate în raport cu regimul normal.

Pentru a putea fi folosit şi în acest caz (punere la pământ monofazată prin rezistenţă de trecere mare ($R_D \geq R_{Dlim}$), în RED-MT cu neutrul legat la pământ prin rezistenţă R_N), ca sistem de referinţă aceleaşi tensiuni $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ trebuie ca acestea să rămână neschimbate în regim de punere monofazată la pământ, îndeosebi ca direcţie şi sens, în raport cu regimul normal.

In anexa I, tab.I.1 s-au calculat abaterile unghiulare ($\delta_{nR,S,T}$) dintre tensiunile de la începutul şi sfârşitul unui distribuitor, în regim normal, încărcat la sarcină trifazată simetrică maximă; acestea au aceeaşi valoare indiferent de modul de tratare a neutrului.

In tab.I.4 s-a calculat abaterea unghiulară δ_{Kmax} dintre tensiunea de la începutul şi sfârşitul distribuitorului, de pe faza pusă la pământ prin $R_D=R_{Dlim}$. Această abatere are valori practic neglijabile şi ca urmare sistemul de tensiuni de fază $\underline{U}_R$, $\underline{U}_S$, $\underline{U}_T$ din toată reţeaua electrică de MT, rămâne practic simetric şi în regim de punere monofazată la pământ. Deci tensiunile de fază $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ din secundarul transformatoarelor din PT (determinate de cele din RED-MT) reprezintă un sistem simetric şi va forma sistemul de tensiuni de referinţă necesar aplicării metodei ce se propune.

Cât priveşte defazajele φ_{pp_R}, φ_{pp_S} φ_{pp_T} dintre curentul de punere la pământ $\underline{I}_{pp}$ şi tensiunile de fază $\underline{U}_R$, $\underline{U}_S$, $\underline{U}_T$ din RED-MT şi defazajele φ'_{pp_a}, φ'_{pp_b} φ'_{pp_c} dintre acelaşi curent $\underline{I}_{pp}$ şi tensiunile de fază $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$, din secundarul transformatoarelor din PT (egale cu defazajele φ_T, φ_R, φ_S dintre curentul $\underline{I}_{pp}$ şi tensiunile de linie $\underline{U}_{RS}$, $\underline{U}_{ST}$, $\underline{U}_{TR}$ din RED-MT), în fig.8.14 s-au reprezentat diagramele fazoriale ale acestor

Scanned with OKEN Scanner

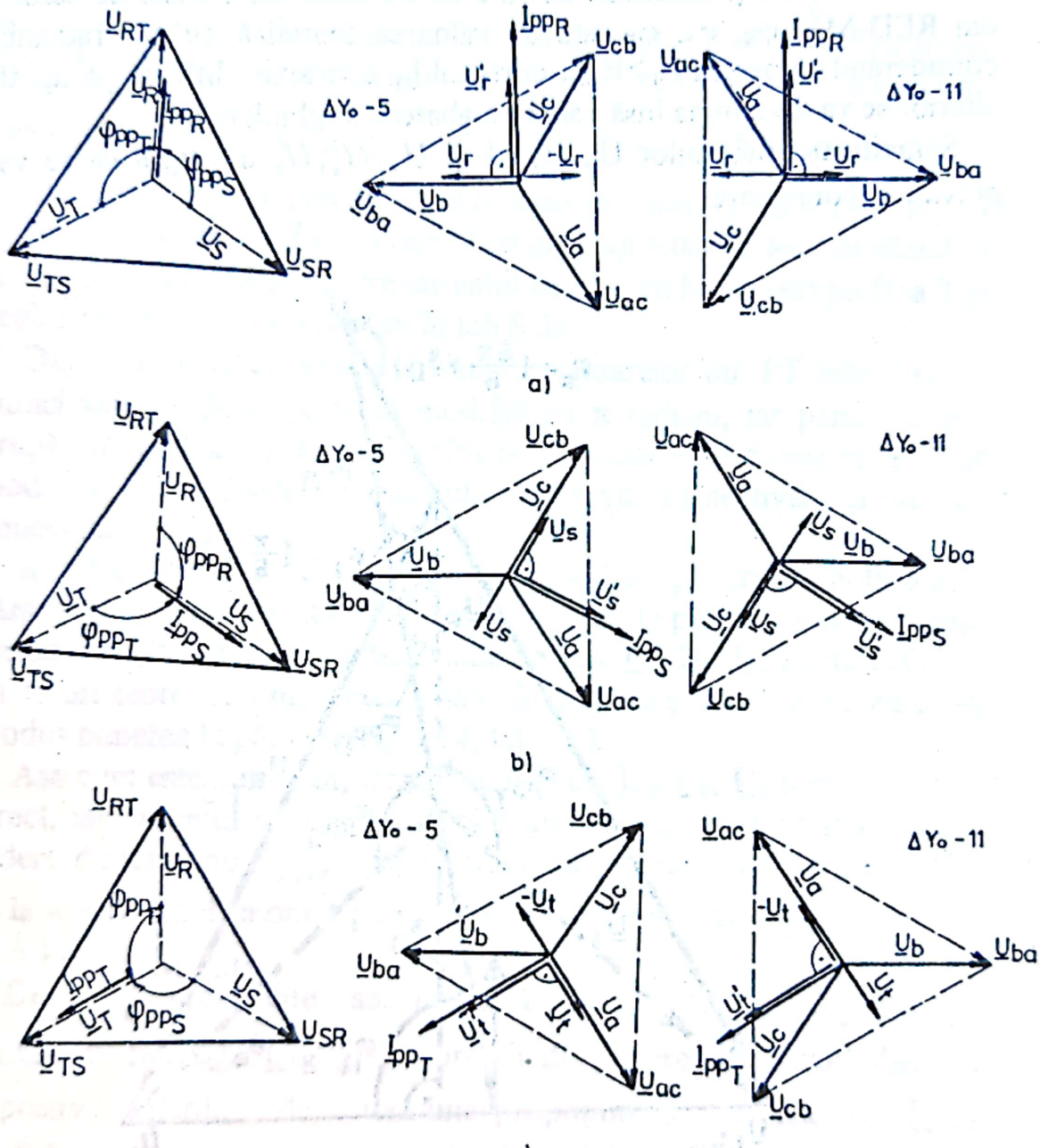


fig.8.14

Scanned with OKEN Scanner

tensiuni şi ale curentului , considerând punerea la pământ pe fiecare fază.

S-au neglijat abaterile unghiulare δ_D fig. 8.15 ale defazajelor dintre curenţii de defect şi tensiunile de linie dintre fazele neafectate de defect din RED-MT, φ_R, φ_S, φ_T faţă de valoarea teoretică de $\pi/2$ radiani, considerând că pentru $R_D > R_{Dlim}$ curentul $\underline{I}_{pp}$ este activ. Intr-un paragraf ulterior se va determina însă valoarea abaterii unghiulare δ_D.

Semnificaţia mărimilor U_r, U_s, U_t şi U'_r, U'_s, U'_t din fig.8.14 se va preciza în continuare.

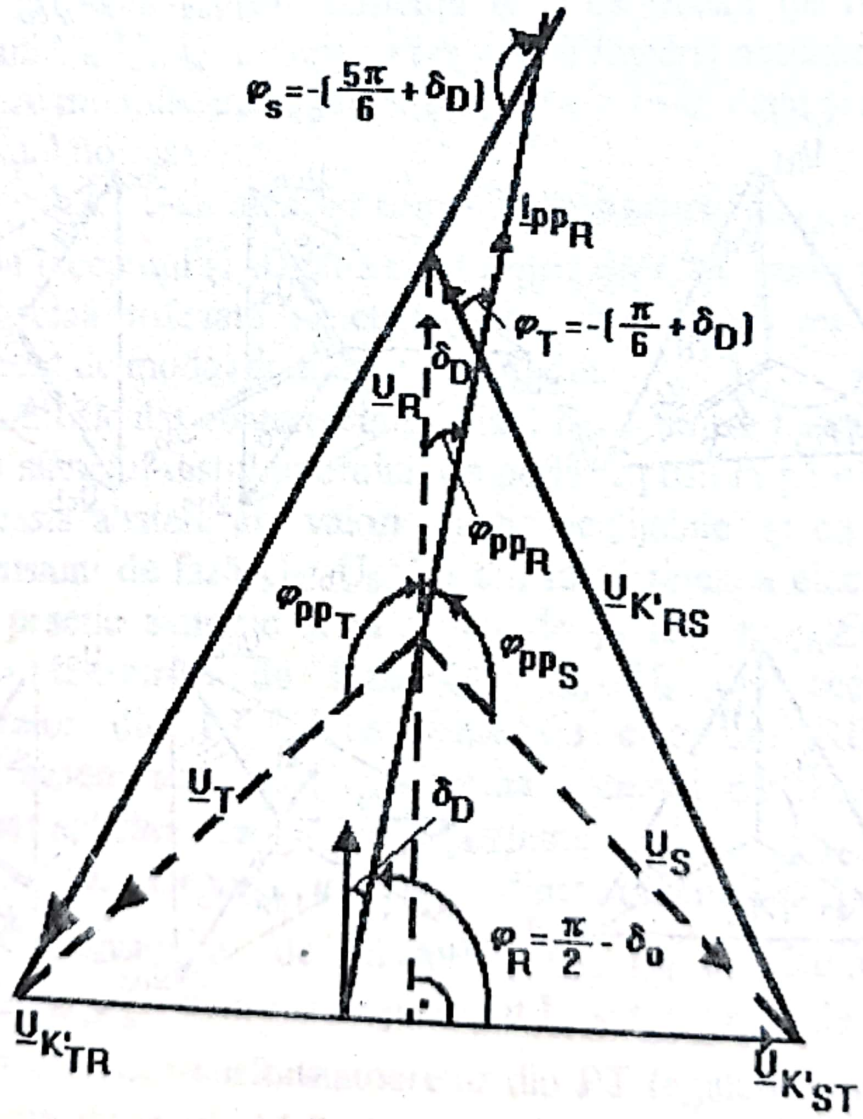


fig. 8.15

Scanned with OKEN Scanner

In cazul unei puneri monofazate la pământ pe faza R, fig.8.14a, defazajele dintre tensiunile de fază $\underline{U}_R$, $\underline{U}_S$, $\underline{U}_T$ din RED-MT şi curentul de defect $\underline{I}_{pp_R}$ au valorile $\varphi_{pp_R}=0$; $\varphi_{pp_S}=\frac{2\pi}{3}$; $\varphi_{pp_T}=-\frac{2\pi}{3}$ radiani, iar între tensiunile de fază $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ din secundarul transformatoarelor din PT, cu grupa de conexiuni ΔY_0-5 şi acelaşi curent, defazajele au valorile $\varphi'_{pp_a}=\frac{5\pi}{6}$; $\varphi'_{pp_b}=-\frac{\pi}{2}$; $\varphi'_{pp_c}=\frac{\pi}{6}$ radiani (tab.8.3a).

Dacă punerea la pământ se produce pe faza S, fig.8.14b, atunci defazajele curentului $\underline{I}_{pp_S}$ în raport cu aceleaşi tensiuni s-au sintetizat în tab.8.3b, iar defazajele dintre curentul de punere la pământ pe faza T şi aceleaşi tensiuni s-au sintetizat în tab.8.3c.

Dacă grupa de conexiuni a transformatoarelor din PT este ΔY_0-11 atunci valorile defazajelor se modifcă cu π radiani, iar pentru o altă grupă de conexiuni (STAS-1590/4-71) valorile defazajelor se vor modifica cu valoarea defazajului specific respectivei grupe de conexiuni.

Rezultă şi în acest caz, că între curentul de punere monofazată la pământ ($\underline{I}_{pp}$) dintr-o RED-MT cu neutrul legat la pământ prin rezistenţă limitatoare (R_N), fig.8.11 şi tensiunile de fază $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ există defazaje cu valori teoretice unic determinate, în funcţie şi de faza pe care s-a produs punerea la pământ (fig.8.14; tab.8.3).

Aşa cum este cunoscut, tensiunile de fază $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ sunt accesibile direct, iar curentul de punere la pământ se măsoară prin intermediul căderii de tensiune $U'_{r,s,t}$, fig.8.16 obţinută pe rezistenţa de sarcină R_S de la ieşirea TSH, montat pe capătul dinspre sursă al fiecărui tronson, fig.8.11.

Din cele prezentate se constată că defazajele $\varphi'_{pp_{a,b,c}}$ dintre tensiunile fază $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ şi curenţii de punere la pământ $\underline{I}_{pp_{R,S,T}}$, respectiv căderile de tensiune propoţionale cu aceştia $\underline{U}'_{r,s,t}$ (fig.8.16) au, în toate cazurile, valori diferite de zero. Aşa cum se cunoaşte din paragraf.8.11, comparatoarele de fază φ_1, φ_2, φ_3,

Scanned with OKEN Scanner

fig.8.6 au la ieşire nivelul logic zero când defazajul dintre mărimile de intrare este de asemenea zero.

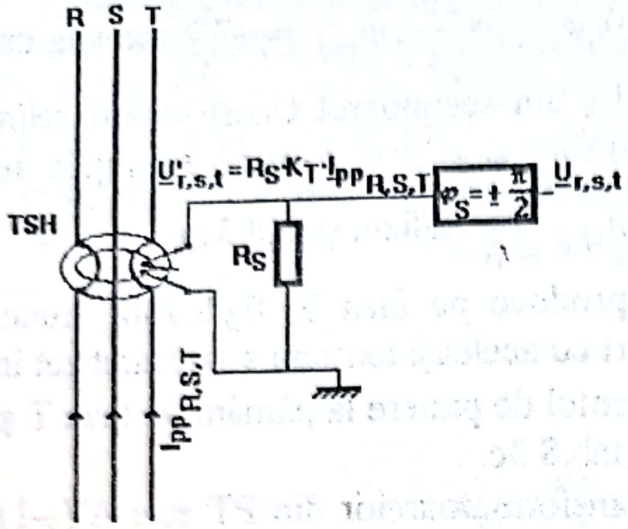


fig. 8.16

Pentru a asigura această condiţie şi pentru acest caz, este necesară o adaptare a circuitului de curent (TSH şi cu R_S), respectiv o defazare splimentară a tensiunii $\underline{U}'_{r,s,t}$ fig.8.16, cu $\varphi_S = \pm\frac{\pi}{2}$ radiani, după caz, pentru a obţine tensiunea $\underline{U}_r$ în fază cu U_b când punerea la pământ are loc pe faza R, $\underline{U}_s$ în fază cu $\underline{U}_c$ când punerea la pământ are loc pe faza S, respectiv $\underline{U}_t$ în fază cu $\underline{U}_a$, când punerea la pământ are loc pe faza T, din RED-MT; aceasta se realizează cu un element defazor(φ_S) introdus la ieşirea din TSH,fig.8.16. La ieşirea acestui element defazor se obţine tensiunea ($\pm\ \underline{U}_{r,s,t}$), corelată cu grupa de conexiuni a transformatoarelor din PT. Defazajele dintre tensiunile de fază $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ şi tensiunea ($\pm\ \underline{U}$) se notează cu $\varphi_{pp_{a,b,c}}$.

Pentru a putea urmări mai uşor valorile defazajelor definite mai sus, acestea s-au sintetizat în tab.8.3, considerând punerea la pământ pe fiecare fază.

Dacă transformatoarele din PT vor avea o altă grupă de conexiuni (în afară de ΔY_0-5 şi ΔY_0 -11), atunci elementul defazor (φ_S) va trebui să introducă o altă valoare a defazajului suplimentar $\varphi_S \neq \pm\frac{\pi}{2}$.

Din cele prezentate rezultă că şi în RED-MT cu neutrul legat la pământ prin rezistenţă limitatoare (R_N), în cazul unei puneri monofazate la pământ prin rezistenţă de trecere mare ($R_D \geq R_{Dlim}$), prin controlul defazajelor dintre curentul $\underline{I}_{pp}$ în raport cu tensiunile de fază

Scanned with OKEN Scanner

TENSIUNI	$\underline{U}_R$	$\underline{U}_S$	$\underline{U}_T$	ΔY_0-5			ΔY_0-11		
				$\underline{U}_a$	$\underline{U}_b$	$\underline{U}_c$	$\underline{U}_a$	$\underline{U}_b$	$\underline{U}_c$
defazaje	φ_{pp_R}	φ_{pp_S}	φ_{pp_T}	$\varphi'_{pp_a}=\varphi_T$	$\varphi'_{pp_b}=\varphi_R$	$\varphi'_{pp_c}=\varphi_S$	$\varphi'_{pp_a}=\varphi_T$	$\varphi'_{pp_b}=\varphi_R$	$\varphi'_{pp_c}=\varphi_S$
$\underline{U}'_r=R_S K_T I_{pp_R}$	0	$+\frac{2\pi}{3}$	$-\frac{2\pi}{3}$	$+\frac{5\pi}{6}$	$-\frac{\pi}{2}$	$+\frac{\pi}{6}$	$-\frac{\pi}{6}$	$+\frac{\pi}{2}$	$-\frac{5\pi}{6}$
defazaje	—	—	—	φ_{pp_a}	φ_{pp_b}	φ_{pp_c}	φ_{pp_a}	φ_{pp_b}	φ_{pp_c}
$\underline{U}_r$	—	—	—	$-\frac{2\pi}{3}$	0	$+\frac{2\pi}{3}$	$+\frac{\pi}{3}$	π	$-\frac{\pi}{3}$
$(-\underline{U}_r)$	—	—	—	$+\frac{\pi}{3}$	$-\pi$	$-\frac{\pi}{3}$	$-\frac{2\pi}{3}$	0	$+\frac{2\pi}{3}$

PUNERE MONOFAZATA LA PAMINT PE FAZA R
tab. 8.3 - (a)

TENSIUNI	$\underline{U}_R$	$\underline{U}_S$	$\underline{U}_T$	ΔY_0-5			ΔY_0-11		
				$\underline{U}_a$	$\underline{U}_b$	$\underline{U}_c$	$\underline{U}_a$	$\underline{U}_b$	$\underline{U}_c$
defazaje	φ_{pp_R}	φ_{pp_S}	φ_{pp_T}	$\varphi'_{pp_a}=\varphi_T$	$\varphi'_{pp_b}=\varphi_R$	$\varphi'_{pp_c}=\varphi_S$	$\varphi'_{pp_a}=\varphi_T$	$\varphi'_{pp_b}=\varphi_R$	$\varphi'_{pp_c}=\varphi_S$
$\underline{U}'_s=R_S K_T I_{pp_S}$	$-\frac{2\pi}{3}$	0	$+\frac{2\pi}{3}$	$+\frac{\pi}{6}$	$+\frac{5\pi}{6}$	$-\frac{\pi}{2}$	$-\frac{5\pi}{6}$	$-\frac{\pi}{6}$	$+\frac{\pi}{2}$
defazaje	—	—	—	φ_{pp_a}	φ_{pp_b}	φ_{pp_c}	φ_{pp_a}	φ_{pp_b}	φ_{pp_c}
$\underline{U}_s$	—	—	—	$+\frac{2\pi}{3}$	$-\frac{2\pi}{3}$	0	$-\frac{\pi}{3}$	$+\frac{\pi}{3}$	π
$(-\underline{U}_s)$	—	—	—	$-\frac{\pi}{3}$	$+\frac{\pi}{3}$	$-\pi$	$+\frac{2\pi}{3}$	$-\frac{2\pi}{3}$	0

PUNERE MONOFAZATA LA PAMINT PE FAZA S
tab. 8.3 - (b)

TENSIUNI	$\underline{U}_R$	$\underline{U}_S$	$\underline{U}_T$	ΔY_0-5			ΔY_0-11		
				$\underline{U}_a$	$\underline{U}_b$	$\underline{U}_c$	$\underline{U}_a$	$\underline{U}_b$	$\underline{U}_c$
defazaje	φ_{pp_R}	φ_{pp_S}	φ_{pp_T}	$\varphi'_{pp_a}=\varphi_T$	$\varphi'_{pp_b}=\varphi_R$	$\varphi'_{pp_c}=\varphi_S$	$\varphi'_{pp_a}=\varphi_T$	$\varphi'_{pp_b}=\varphi_R$	$\varphi'_{pp_c}=\varphi_S$
$\underline{U}'_t=R_S K_T I_{pp_T}$	$+\frac{2\pi}{3}$	$-\frac{2\pi}{3}$	0	$-\frac{\pi}{2}$	$+\frac{\pi}{6}$	$+\frac{5\pi}{6}$	$+\frac{\pi}{2}$	$-\frac{5\pi}{6}$	$-\frac{\pi}{6}$
defazaje	—	—	—	φ_{pp_a}	φ_{pp_b}	φ_{pp_c}	φ_{pp_a}	φ_{pp_b}	φ_{pp_c}
$\underline{U}_t$	—	—	—	0	$+\frac{2\pi}{3}$	$-\frac{2\pi}{3}$	π	$-\frac{\pi}{3}$	$+\frac{\pi}{3}$
$(-\underline{U}_t)$	—	—	—	$-\pi$	$-\frac{\pi}{3}$	$+\frac{\pi}{3}$	0	$+\frac{2\pi}{3}$	$-\frac{2\pi}{3}$

PUNERE MONOFAZATA LA PAMINT PE FAZA T
tab. 8.3 - (c)

Scanned with OKEN Scanner

$\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ se poate identifica existenţa unei puneri monofazate la pământ şi localiza, pe de o parte distribuitorul şi faza pe care s-a produs aceasta, iar pe de altă parte şi tronsonul dintre două PT, de pe distribuitor, pe care s-a produs punerea la pământ.

In fig.8.17 este prezentată schema de principiu a dispozitivului, funcţionând pe principiul metodei propuse în paragraf.8.1.1 dar adaptată pentru identificarea şi localizarea unei puneri la pământ prin $R_D \geq R_{Dlim}$, în RED-MT cu neutrul legat la pământ prin rezistenţă limitatoare.

Acesta conţine aceleaşi elemente ca şi dispozitivul din fig.8.6 având însă în plus elementul defazor (φ_S) montat la ieşirea din TSH.

Din interpretarea valorii mărimilor de ieşire $Q_1 \div Q_4$, ale dispozitivelor de pe distribuitorul cu defect, se pot identifica şi în acest

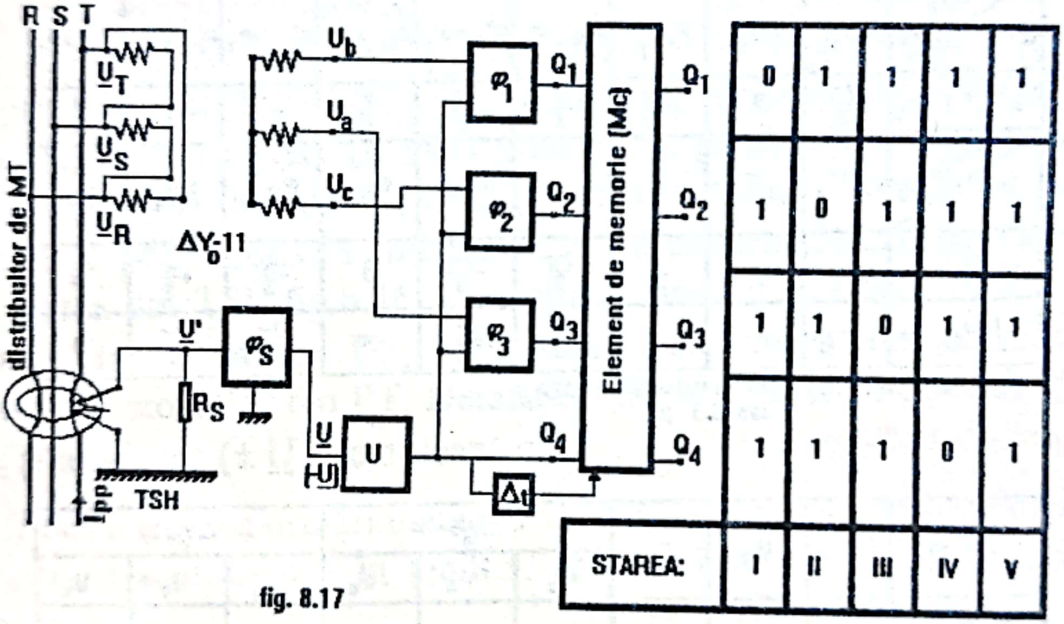


fig. 8.17

caz, cinci stări posibile ale acestuia. La ieşirile Q_1, Q_2, Q_3 din comparatoarele de fază φ_1, φ_2, φ_3 s-a considerat nivelul logic zero când defazajul dintre mărimile de intrare este zero, respectiv unu, în caz contrar sau când una din mărimile de intrare în comparatoare este zero.

Mărimea de ieşire Q_4 din elementul de măsură (U) are valoarea logică unu când mărimea de intrare $\underline{U}_{r,s,t}$ depăşeşte valoarea de prag U_{P1}; aceasta trebuie să fie cât mai mică pentru a permite identificarea punerilor la pământ prin rezistenţe R_D cât mai mari dar, în acelaşi timp

Scanned with OKEN Scanner

trebuie să asigure şi desensibilizarea dispozitivului faţă de alte categorii de defecte. Ca urmare, valoarea de prag U_{P_1} va rezulta din corelarea pragului de sensibilitate al elementului de măsură [17], cu valoarea ce asigură desensibilizarea aceluiaşi element faţă de curenţii pe care îi măsoară TSH în cazul altor categorii de defecte.

Cele cinci stări ale dispozitivului au următoarea semnificaţie:
Starea I, II, III - punere monofazată la pământ pe faza R, S respectiv T, în aval;

IV - inexistenţa unei puneri la pământ în aval;

V - existenţa unui curent de dezechilibru de altă natură.

Dispozitivul conţine elementul de memorie comandabil (M_c) care are rolul de a memora valorile Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 făcând posibilă şi în acest caz, lecturarea dispozitivelor de pe distribuitorul cu defect şi după deconectarea acestuia; se reduce astfel durata menţinerii sub tensiune a distribuitorului cu o punere simplă la pământ.

Elementul de memorie poate fi comandat fie direct de elementul de măsură(U), fie prin intermediul elementului de temporizare (Δ t), după un timp Δt. Soluţia a doua desensibilizează dispozitivul faţă de eventualele determinări eronate ale defazajelor în momentele imediat următoare producerii defectului.

Operaţia de localizare propriuzisă, în acest caz, se desfăşoară similar cazurilor anterioare, rezultând aceleaşi concluzii în ceea ce priveşte durata localizării.In concluzie, cu dispozitivele a căror scheme de principiu au fost prezentate în fig.8.4; 8.6; 8.10 şi 8.17 şi care se montează în fiecare PT al unei RED-MT, se poate identifica şi localiza complet o punere monofazată la pământ prin lecturarea acestora, la faţa locului, de către echipa de intervenţie; din acest motiv durata acestei operaţii poate fi de ordinul zecilor de minute sau al orelor.

Dacă în RED-MT, îndeosebi urbane, se introduce o structură de calcul pentru conducerea şi controlul ei în ansamblu [17;18] atunci dispozitivul propus va fi integrat în această structură; ca urmare, prin lecturarea dispozitivelor, automat, din punctul de dispecer urban durata identificării şi localizării complete a unei puneri monofazate la pământ se reduce la (2÷10) secunde.

Scanned with OKEN Scanner

8.1.3. Erori ce pot afecta unghiurile măsurate.

In expunerea metodelor de identificare şi localizare a unei puneri monofazate la pământ, defazajele $\varphi^{S,d}_{dez\ a,b,c}$, respectiv $\varphi_{pp_{a,b,c}}$ s-au considerat prin valorile ideale sintetizate în tab.8.1÷8.3 neglijându-se eventualele abateri de la aceste valori. Din analiza principiului metodei, a condiţiilor de funcţionare precum şi a subansamblelor ce intră în structura unei RED-MT rezultă că aceste abateri sunt determinate de căderile de tensiune pe distribuitori şi în postul de transformare (PT), de caracteristicile elementelor de măsură, de valoarea rezistenţei de trecere la locul cu defect R_D şi de existenţa unui regim deformat.

Aceste abateri ale defazajelor menţionate, de la valorile ideale considerate anterior, vor constitui erori şi trebuiesc luate în considerare astfel încât dispozitivele cu care se vor aplica aceste metode să prezinte siguranţă în acţionare şi neacţionare.

In continuare se vor prezenta erorile de unghi în funcţie de cauzele ce le determină şi anume:

- erori de unghi determinate de căderile de tensiune;
- erori de unghi determinate de valoarea rezistenţei de trecere la locul cu defect (R_D);
- erori de unghi determinate de elementele de măsură;
- erori de unghi determinate de regimul deformat.

8.1.3.1. Erori de unghi determinate de căderile de tensiune.

A.Erori de unghi determinate de căderile de tensiune pe distribuitorii de medie tensiune | 90 | .

Datorită căderilor de tensiune dintre tensiunile de fază $\underline{U}_R$, $\underline{U}_S$, $\underline{U}_T$ de la sfârşitul distribuitorului şi $\underline{U}_{IR}$, $\underline{U}_{IS}$, $\underline{U}_{IT}$ de la începutul acestuia, între fazorii aceleiaşi tensiuni rezultă un defazaj δ, fig.8.18a. In condiţiile în care metoda de identificare şi localizare a punerilor monofazate la pământ se bazează pe controlul defazajelor dintre curentul din regim de punere la pământ (care rămâne acelaşi între barele ID şi locul cu defect) şi tensiunile din diferite locuri (PT) de pe

Scanned with OKEN Scanner

distribuitor, afectate de căderile de tensiune, rezultă că defazajele ce se controlează vor fi şi ele afectate, în funcţie de locul unde acestea se controlează şi de poziţia acestui loc în raport cu locul defect.

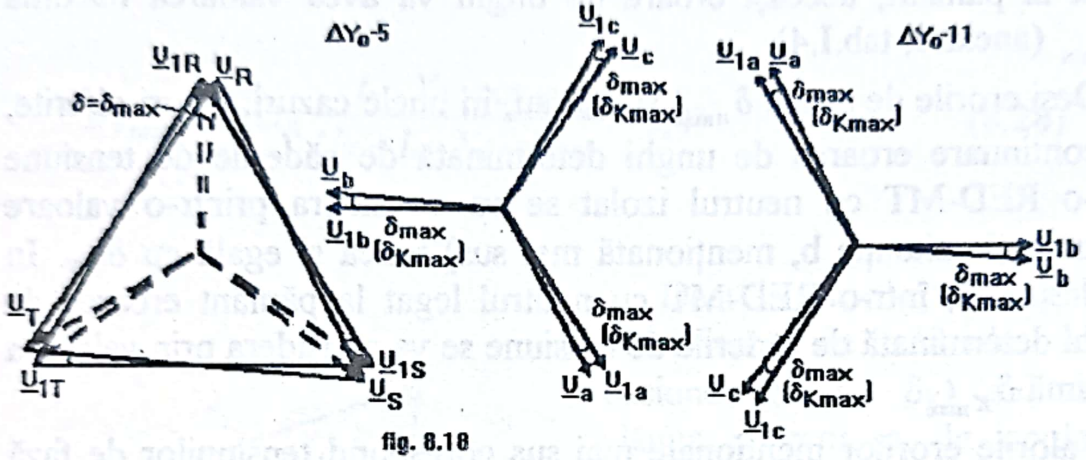


fig. 8.18

Ca urmare, rezultă următoarele două situaţii limită:

a) - dispozitivul cu care se aplică metoda se află imediat în amonte de locul cu defect, în care caz, eroarea de unghi determinată de căderile de tensiune este practic zero, indiferent de locul unde se produce defectul, în lungul distribuitorului;

b) - defectul se produce la sfârşitul distribuitorului (căderea de tensiune, anexa I, are valoarea maximă), iar dispozitivul este la începutul acestuia (A_{i0}, fig.8.5); în acest caz eroarea de unghi are valoarea maximă. Evident, dacă punerea la pământ se produce mai în amonte, eroarea de unghi ce afectează defazajele măsurate de dispozitivul A_{i0} este mai mică.

In regim de punere monofazată la pământ pe cele trei faze ale unui distribuitor căderile de tensiune au valori diferite: pe fazele fără defect au valori corespunzătoare regimului de sarcină (în cazul cel mai dificil, sarcina maximă), iar pe faza pusă la pământ au o altă valoare.

In anexa I, tab.I.1 s-au determinat erorile de unghi corespunzătoare căderilor de tensiune maxime admisibile, care au aceeaşi valoare pe fiecare fază $\delta_{Rn} = \delta_{Sn} = \delta_{Tn} = \delta_{n\max}$; deci în regim de punere

monofazata la pământ, pe fazele sănătoase eroarea de unghi, în situaţia de la aliniatul b, va avea valoarea maximă $\delta_{n\max}$.

Pe faza pusă la pământ, într-o RED-MT cu neutrul izolat, eroarea de unghi determinată de căderea de tensiune, în acelaşi caz limită b, va avea valoarea maximă δ_{max} (anexa I, tab.I.3); în RED-MT cu neutrul legat la pământ, aceeaşi eroare de unghi va avea valoarea maximă $\delta_{K\max}$ (anexa I, tab.I.4).

Deşi erorile de unghi $\delta_{n\max}$ şi δ_{max} au, în unele cazuri, valori diferite, în continuare eroarea de unghi determinată de căderile de tensiune într-o RED-MT cu neutrul izolat se va considera printr-o valoare maximă (în situaţia b, menţionată mai sus) unică şi egală cu δ_{max}. In mod similar, într-o RED-MT cu neutrul legat la pământ eroarea de unghi determinată de căderile de tensiune se va considera prin valoarea maximă $\delta_{K\max}$.

Valorile erorilor menţionate mai sus corespund tensiunilor de fază din RED-MT, fig.8.18a, însă conform metodei se controlează tensiunile de fază $\underline{U}_{a,b,c}$, fig.8.18b, din secundarul transformatoarelor din PT, evident, prin intermediul tensiunilor de linie $\underline{U}_{RS}$, $\underline{U}_{ST}$, $\underline{U}_{TR}$ (ΔY_0 -5(11)) erorile de unghi (δ_{max}, $\delta_{K\max}$) se regăsesc practic şi între tensiunile de fază de pe partea de joasă tensiune a PT (nu se ţine seama, deocamdată, de eroarea proprie transformatoarelor din PT).

B. Erori de unghi determinate de căderea de tensiune pe transformatorul din PT.

Intre tensiunea din primar ($\underline{U}_P$) şi cea din secundar ($\underline{U}_S$) a unui transformator, fig.8.19 (s-au considerat tensiunile raportate la secundar), încărcat la sarcina nominală, există o cădere de tensiune ($\Delta\underline{U}$) a cărei valoare, în cazul transformatoarelor de forţă, se exprimă prin tensiunea de scurtcircuit (U_K). Acestei valori a căderii de tensiune îi corespunde o abatere unghiulara (δ_T), care din punct de vedere al metodelor propuse reprezintă o eroare de unghi; valoarea maximă a acestei erori ($\delta_{T\max}$) se obţine când transformatorul este încărcat la curentul nominal ($\underline{I}_n$) şi la factorul de putere recomandat pentru

regimul normal de funcţionare (cos φ=0,92; φ=23°). Tensiunile de scurtcircuit ale transformatoarelor de forţă din PT au valori între (4÷6)% [54]. Ca urmare, eroarea de unghi maximă ($\delta_{T\,max}$) determinată de transformatorul din PT, racordat la RED-MT are valoarea :

$$\delta_{T\,max} = arctg \frac{I_n \cdot X_T \cdot \cos\varphi}{U_S + I_n \cdot X_T \cdot \sin\varphi} = 3{,}4^{\circ} \qquad (8.28)$$

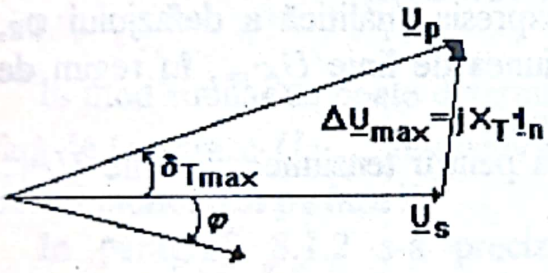


fig. 8.19

Deci la erorile de unghi determinate de căderile de tensiune (δ sau δ_K) se va adăuga şi eroarea de unghi determinată de căderea de tensiune pe transformatoarele din PT.

8.1.3.2. Erori de unghi determinate de rezistenţa de trecere la locul cu defect (R_D).

A. In cazul RED-MT cu neutrul izolat.

In aceste reţele defazajele $\varphi^{d,S}_{dez\ a,b,c}$ îşi modifică valoarea în domeniul (0; π/2) radiani când rezistenţa R_D ia valori în domeniul (0; ∞), schema dispozitivului de aplicare a metodei, fig.8.17, fiind adecvată acestei variaţii (fig.8.9) a defazajelor. Din acest motiv, în RED-MT cu neutrul izolat variaţia defazajelor cu rezistenţa nu reprezintă o eroare de unghi.

Scanned with OKEN Scanner

B. In cazul RED-MT cu neutrul legat la pământ prin rezistenţă (R_N).

In expunerea metodei de identificare şi localizare a unei puneri la pământ în RED-MT cu neutrul legat la pământ (paragraf.8.1.2) s-a considerat că defazajele φ_R, φ_S, φ_T ale curentului de punere monofazată la pământ $\underline{I}_{pp_{R,S,T}}$, în raport cu tensiunile de linie dintre fazele sănătoase, $\underline{U}_{ST}$, $\underline{U}_{TR}$, respectiv $\underline{U}_{RS}$, sunt egale cu $\pi/2$ radiani, neglijându-se abaterea unghiulară $\delta_D(R_D)$, fig.8.15 în raport cu această valoare ideală; ca urmare, defazajele $\varphi_{pp_{a,b,c}}$ măsurate, conform metodei, au valorile ideale din tab.8.3, indiferent de valoarea rezistenţei $R_D \geq R_{Dlim}$ [17].

In continuare se va determina expresia analitică a defazjului φ_R, fig.8.15 dintre curentul $\underline{I}_{pp_R}$ şi tensiunea de linie $\underline{U}_{K'ST}$, în regim de punere monofazată la pământ ($R_D > R_{Dlim}$).

Pe seama expresiilor (8.6) rezultă pentru tensiunea de linie $\underline{U}_{K'ST}$ expresia:

$$\underline{U}_{K'ST} = (a^2 - a)\underline{U}_{K'dR} + (a - a^2)\underline{U}_{K'iR} \qquad (8.29)$$

Explicitând tensiunile $\underline{U}_{K'dR}$ şi $\underline{U}_{K'iR}$ (5.1), ţinând cont de (5.53) şi de faptul că în RED-MT $Z_d = Z_i$ rezultă:

$$\underline{U}_{K'ST} = \left[(a^2 - a)2Z_d^{TL} + (a^2 - a)Z_0^{TL} + (a^2 - a)3R_D\right]\underline{I}_{pp_R} \qquad (8.30)$$

Explicitând impedanţele Z_d şi Z_0 şi ţinând cont că $(a^2 - a) = j\sqrt{3}$ rezultă :

$$\underline{U}_{K'ST} = \frac{1}{\sqrt{3}}\underline{I}_{pp_R}\left\{\left[2X_d^{TL} + X_0^{TL}\right] - j\left[3(R_N + R_D) + 2R_d^{TL} + R_0^{TL}\right]\right\} \qquad (8.31)$$

Scanned with OKEN Scanner

Ca urmare, defazajul φ_R al curentului $\underline{I}_{pp_R}$, în raport cu tensiunea $\underline{U}_{K'_{ST}} \cong \underline{U}_{ST}$ are expresia:

$$\varphi_R = arctg\left[\frac{3(R_N + R_D) + 2R_d^{TL} + R_0^{TL}}{2X_d^{TL} + X_0^{TL}}\right] \qquad (8.32)$$

Abaterea δ_D, fig.8.15 a defazajului φ_R, față de valoarea ideală de $\pi/2$ radiani, reprezintă, pe de altă parte şi defazajul φ_{pp_R} al curentului $\underline{I}_{pp_R}$ în raport cu tensiunea $\underline{U}_R = j\underline{U}_{ST}/\sqrt{3}$.

$$\varphi_{pp_R} = \delta_D = -arctg\left[\frac{2X_d^{TL} + X_0^{TL}}{3(R_D + R_N) + 2R_d^{TL} + R_0^{TL}}\right] \qquad (8.33)$$

In mod similar se poate determina şi defazajul φ_T al curentului $\underline{I}_{pp_R}$ față de tensiunea $\underline{U}_{K'_{RS}}$, respectiv φ_S dintre $\underline{I}_{pp_R}$ şi $\underline{U}_{K'_{TR}}$, în regim de defect monofazat pe faza R.

In paragraf. 8.1.2 s-a precizat că metoda propusă se aplică defectului monofazat prin rezistență de trecere mare ($R_D \geq R_{Dlim}$) pentru care curentul de defect are valori mici, comparabile cu cele ale curentului de punere monofazată la pământ în RED-MT cu neutrul izolat.

Aşa cum s-a arătat metoda propusă se aplică numai punerilor monofazate la pământ prin rezistență de trecere mare ($R_D \geq R_{D\,lim}$), pentru care curentul de scurtcircuit monofazat $\underline{I}_{K_R}$, având valori mici, comparabile cu cele ale curentului de punere la pământ în RED-MT cu neutrul izolat, se defineşte tot ca un curent de punere la pământ $\underline{I}_{pp_R}$. Delimitarea celor două tipuri de defect monofazat, definite într-o RED-MT cu neutrul legat la pământ [14], scurtcircuit monofazat când $R_D < R_{Dlim}$, respectiv punere monofazată la pământ prin rezistență de trecere mare $R_D \geq R_{Dlim}$, nu se face prin adoptarea valorii rezistenței R_{Dlim} ci prin recomandarea valorii curentului de defect; această valoare va reprezenta, pe de o parte, cea mai mică valoare a curentului proprie

Scanned with OKEN Scanner

regimului de scurtcircuit monofazat (când R_D=R_{Dlim}) şi care s-a notat cu $\underline{I}_{K_{R\,min}}$ (considerând defectul pe faza R), iar pe de altă parte, reprezintă şi cea mai mare valoare a curentului, proprie regimului de punere monofazată la pământ şi care s-a notat $\underline{I}_{pp_{R\,max}}$.

Pornind de la valorile recomandate ale curentului $\underline{I}_{pp_{max}}$, pentru fiecare soluţie constructivă a RED-MT [14] şi care sunt cuprinse între (100 ÷ 150)A în LES, respectiv (60 ÷ 80)A în LEA, şi ţinând cont de (8.19), rezultă domeniul de variaţie a valorii rezistenţei R_{Dlim}, în funcţie de tipul reţelei şi de valoarea aleasă pentru curentul $\underline{I}_{pp_{max}}$. In continuare se va stabili acest domeniu pentru ca pe seama lui să se determine domeniul de variaţie real al defazajului φ_R, fig.8.15 (care ideal s-a considerat prin valoarea de $\pi/2$ radiani) şi al abaterii unghiulare δ_D (8.33) (care ideal s-a considerat nulă). Această abatere unghiulară δ_D reprezintă eroarea de unghi proprie RED-MT cu neutrul legat la pământ, determinată de variaţia rezistenţei R_D în domeniul (R_{Dlim}; ∞).

Aşa cum s-a arătat, impedanţele transformatoarelor de forţă Z_d^T, Z_i^T, Z_0^T, pentru puterile nominale de (10 ÷ 40) MVA, au valorile cuprinse între (2,4 ÷ 0,6) Ω şi sunt mult mai mici în raport cu suma (R_{Dlim} + R_N).

Admiţând deci, în (8.17) ipoteza:

$$R_{D\,lim}+R_N > \frac{1}{3}(Z_d^T + Z_i^T + Z_0^T) \qquad (8.34)$$

se poate determina valoarea sumei (R_{Dlim}+R_N):

$$R_{D\,lim}+R_N = \frac{\underline{U}_R}{\underline{I}_{pp_{R\,max}}} \qquad (8.35)$$

Rezultă, pentru RED-MT cu tensiunea de 20 Kv, executate cu LES şi valorile recomandate ale $I_{pp_{max}}$, că:

$$R_{Dlim} + R_N \in (115 \div 77)\ \Omega, \qquad (8.35)'$$

Scanned with OKEN Scanner

iar pentru cele executate cu LEA şi valorile recomandate ale $I_{pp_{max}}$

$$R_{Dlim} + R_N \in (192 \div 144)\ \Omega. \qquad (8.35)^*$$

In valorile acestor sume, aşa cum s-a arătat (paragraf.8.1.2) rezistenţa R_N are o valoare bine determinată (8.19) pentru fiecare tip de RED-MT şi este cuprinsă între (2 - 50) Ω.

Evident, valoarea rezistenţei R_{Dlim}, rezultată din (8.35) corespunde unui defect pe barele ID-MT; în lungul distribuitorului intervin şi impedanţele acestuia Z_d^L, Z_i^L, Z_0^L şi ca urmare, valoarea rezistenţei R_{Dlim} pentru care curentul de punere la pământ va avea aceeaşi valoare $I_{pp_{max}}$ (8.19) va fi mai mică.

Pentru fiecare tip de RED-MT cu neutrul legat la pământ prin R_N, în continuare se vor determina analitic valorile erorii de unghi δ_D şi ale defazajului real φ_R (se consideră o punere la pământ pe faza R), pe seama parametrilor r_0, x_0 din tab.I.2, considerând că ID-MT este alimentată de la un transformator de forţă (T_1) fig.8.11 cu puterea de 10 MVA, care are reactanţa cea mai mare (2,4 Ω). Pentru transformatoarele cu două înfăşurări, cu grupa de conexiuni Y_0Y_0 –12, $X_0^T = X_d^T$ |42|.

In tab.8.4 s-au sintetizat valorile reale ale defazajului φ_R (8.32) al curentului $\underline{I}_{pp_R}$ în raport cu tensiunea de linie $\underline{U}_{K'_{ST}}$, din RED-MT şi ale erorii de unghi δ_D, fig.8.15 calculată cu (8.33) (care reprezintă şi defazajul real φ_{pp_R} dintre curentul $\underline{I}_{pp_R}$ şi tensiunea de fază $\underline{U}_R$, pentru valorile recomandate ale curentului $\underline{I}_{pp_{max}}$, în LES, dar şi pentru o valoare mai mică de 80 A. Pentru fiecare secţiune a conductoarelor LES s-a calculat şi valoarea expresiei (R_{Dlim} + R_N), corespunzătoare unui defect la începutul distribuitorului (L=0) şi la sfârşitul acestuia (L=L_{max}), unde L_{max} are semnificaţia şi valoarea din tab.I.1.

In tab.8.5 s-au sintetizat valorile aceloraşi mărimi, dar pentru o RED-MT executată cu LEA, considerând şi în acest caz, pentru curentul $\underline{I}_{pp_{max}}$ încă o valoare (40A) pe lângă cele recomandate în prezent (60-80) A.

Scanned with OKEN Scanner

Valorile erorilor de unghi din cele două tabele reprezintă, fiecare în parte o valoare maximă (δ_{Dmax}) deoarece s-a considerat cea mai mică valoare a rezistenţei $R_D=R_{Dlim}$.

Evident, cu cât aceasta va fi mai mare decât R_{Dlim} valorile lui δ_D vor fi mai mici, tinzând la valoarea ideală $\delta_D=0$, pentru $R_D=\infty$.

Se constată că valoarea cea mai mare a abaterii δ_D a defazajului φ_R în raport cu valoarea ideală de $\pi/2$ radiani, dintre curentul $\underline{I}_{pp_R}$ şi

$I_{pp_{Rmax}}$ [A]	L	———	LES - secţiuni [mm²]				
			50	70	95	120	150
80	0	$R_{Dlim}+R_N$ [Ω]	144,33	144,33	144,33	144,33	144,33
		φ_R^o	89,12	89,12	89,12	89,12	89,12
		$\delta_{Dmax}=\varphi_{pp_{Rmax}}$	-0,88	-0,88	-0,88	-0,88	-0,88
	Lmax	$R_{Dlim}+R_N$ [Ω]	136,21	140,08	141,3	141,8	142,25
		φ_R^o	88,99	88,78	88,75	88,71	88,69
		$\delta_{Dmax}=\varphi_{pp_{Rmax}}$	-1,01	-1,22	-1,25	-1,29	-1,31
100	0	$R_{Dlim}+R_N$ [Ω]	115,46	115,46	115,46	115,46	115,46
		φ_R^o	88,9	88,9	88,9	88,9	88,9
		$\delta_{Dmax}=\varphi_{pp_{Rmax}}$	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1
	Lmax	$R_{Dlim}+R_N$ [Ω]	107,17	111,19	112,28	112,9	113,4
		φ_R^o	88,73	88,53	88,48	88,42	88,36
		$\delta_{Dmax}=\varphi_{pp_{Rmax}}$	-1,27	-1,47	-1,52	-1,58	-1,64
150	0	$R_{Dlim}+R_N$ [Ω]	76,9	76,9	76,9	76,9	76,9
		φ_R^o	88,36	88,36	88,36	88,36	88,36
		$\delta_{Dmax}=\varphi_{pp_{Rmax}}$	-1,64	-1,64	-1,64	-1,64	-1,64
	Lmax	$R_{Dlim}+R_N$ [Ω]	68,73	72,80	73,59	74,44	74,85
		φ_R^o	88,07	87,70	87,62	87,59	87,55
		$\delta_{Dmax}=\varphi_{pp_{Rmax}}$	-1,93	-2,30	-2,38	-2,41	-2,45

tab. 8.4

Scanned with OKEN Scanner

tensiunea de linie $\underline{U}_{K'ST}$ (dintre fazele sănătoase) la locul cu defect , este de aproximativ 4,4 grade.

Această abatere unghiulară (δ_D), care reprezintă eroarea de unghi determinată de rezistenţa R_D, proprie RED-MT cu neutrul legat la pământ, are aceeaşi valoare pentru toate dispozitivele (A_{ij}, fig.8.11),de

$I_{pp_{Rmax}}$ [A]	L	———	LES - sectiuni [mm^2]				
			35	50	75	95	120
40	0	$R_{Dlim}+R_N$ [Ω]	288,66	288,66	288,66	288,66	288,66
		φ_R^0	89,55	89,55	89,55	89,55	89,55
		$\delta_{Dmax}=\varphi_{pp_{Rmax}}$	-0,45	-0,45	-0,45	-0,45	-0,45
	Lmax	$R_{Dlim}+R_N$ [Ω]	273	277,2	279,2	281,6	285,4
		φ_R^0	87,62	87,92	87,95	88	88,05
		$\delta_{Dmax}=\varphi_{pp_{Rmax}}$	-2,38	-2,08	-2,05	-2	-1,95
60	0	$R_{Dlim}+R_N$ [Ω]	192,4	192,4	192,4	192,4	192,4
		φ_R^0	89,44	89,44	89,44	89,44	89,44
		$\delta_{Dmax}=\varphi_{pp_{Rmax}}$	-0,56	-0,56	-0,56	-0,56	-0,56
	Lmax	$R_{Dlim}+R_N$ [Ω]	178,9	180,7	182,5	187,7	188,96
		φ_R^0	86,9	87	87,02	87,05	87,08
		$\delta_{Dmax}=\varphi_{pp_{Rmax}}$	-3,1	-3	-2,98	-2,95	-2,92
80	0	$R_{Dlim}+R_N$ [Ω]	144,3	144,3	144,3	144,3	144,3
		φ_R^0	88,36	88,36	88,36	88,36	88,36
		$\delta_{Dmax}=\varphi_{pp_{Rmax}}$	-1,64	-1,64	-1,64	-1,64	-1,64
	Lmax	$R_{Dlim}+R_N$ [Ω]	130,7	132,6	136,78	138,41	140,87
		φ_R^0	85,6	85,8	85,9	86	86,1
		$\delta_{Dmax}=\varphi_{pp_{Rmax}}$	-4,4	-4,2	-4,1	-4	-3,9

tab. 8.5

Scanned with OKEN Scanner

pe distribuitorul cu defect , parcurse de curentul de punere monofazată la pământ ($\underline{I}_{pp_R}$).

8.1.3.3. Erori de unghi determinate de elementele de măsură.

In această categorie se vor considera erorile determinate de transformatoarele cu care se măsoară curenţii homopolari de defect (TSH).

In fig.8.20a este prezentată schema echivalentă (cuadripol T) a transformatorului de curent de secvenţă homopolară în care s-au evidenţiat parametrii proprii (Z_1, Z_2, Z_0) şi rezistenţa de sarcină R_S pe care se măsoară căderea de tensiune $\underline{U}$ (8.1) ce se aplică comparatoarelor de fază φ_1, φ_2, φ_3 ale dispozitivelor din fig.8.4; 8.6; 8.10 respectiv $\underline{U}'$ ce se aplică comparatoarelor dispozitivului din fig.8.17.

In fig.8.20b este reprezentată diagrama fazorială simplificată a TSH |31|, folosind mărimile raportate, din care rezultă că eroarea de unghi δ_i este determinată de curentul de magnetizare $\underline{I}_0$, iar din expresia analitică a acestuia:

$$\underline{I}_0 = \underline{I}_1 \frac{Z_2 + Rs}{Z_0 + Z_2 + Rs} \qquad (8.36)$$

unde $\underline{I}_1$, în acest caz, modelează curenţii $\underline{I}_{dez}^{d,S}$ sau $\underline{I}_{pp}$, rezultă că acest curent depinde şi de valoarea rezistenţei de sarcină R_S, micşorându-se

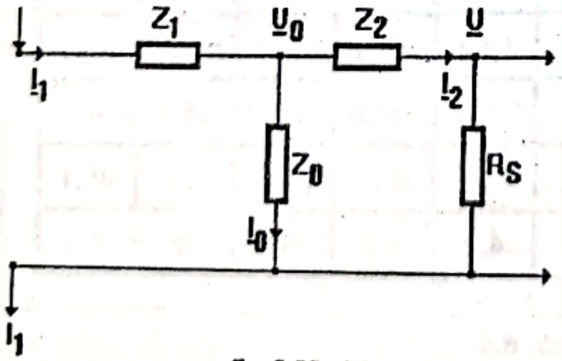


fig. 8.20 - (a)

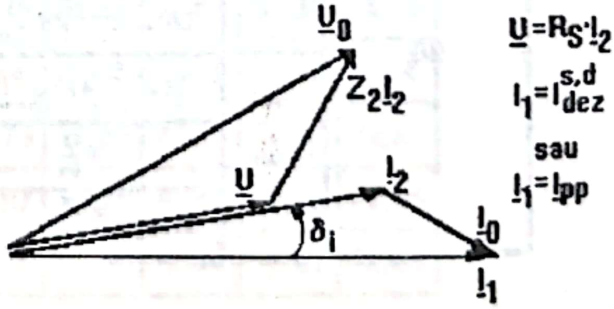


fig. 8.20 - (b)

Scanned with OKEN Scanner

odată cu micşorarea valorii rezistenţei R_S. Deci şi eroarea de unghi δ_i scade cu reducerea valorii rezistenţei R_S.

In literatură |31| sunt trasate diagramele de erori $\delta_i(I_1)$ ale transformatoarelor de curent (TSH), pentru anumite domenii de variaţie ale curentului primar I_1, în raport cu curentul nominal al TSH.

Din cele prezentate în anexa I şi paragraf.8.1.2 rezultă că valoarea curentului ce se măsoară cu TSH este cuprinsă între (0 ÷ 150) A. Deoarece acest domeniu este mai mare decât cel avut în vedere în literatură | 31| , este necesară trasarea diagramei de erori de unghi pentru $I_1 \in (0 \div 150)$ A.

Ca urmare, pentru TSH tip CIRHI (fabricată în România) s-au determnat experimental erorile de unghi pentru valorile de mai sus ale curentului din primar I_1, folosind în acest scop,schema de măsură a defazajelor (SMD) din fig.8.21a, cu o trusă de curent pentru valori ale

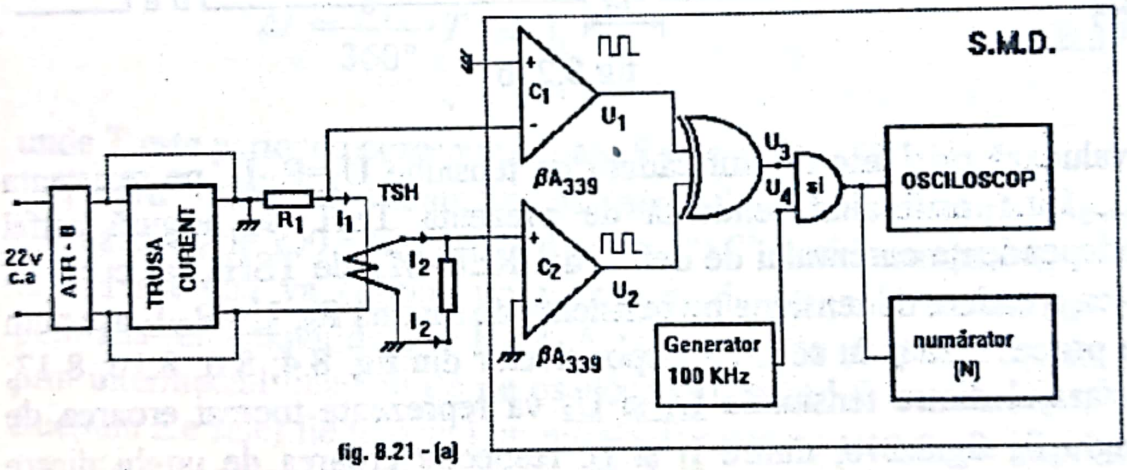


fig. 8.21 - (a)

curentului $I_1 \in (10;150)$A şi fără trusă de curent pentru $I_1 \in (0;10)$A. Curentul primar este sinusoidal, reproducând astfel curentul de defect de regim stabilizat.

Pentru determinarea erorii de unghi introdusă de TSH s-a apelat la o metodă de comparare, care se va expune mai jos, prin măsurarea defazajului dintre curentul I_1 care, aşa cum s-a precizat, modelează curenţii $\underline{I}_{dez}^{d,S}$, $\underline{I}_{pp}$ din circuitul în care este conectat primarul TSH şi curentul $\underline{I}_2$ din secundarul acestuia. In acest scop, curentul $\underline{I}_2$ se

Scanned with OKEN Scanner

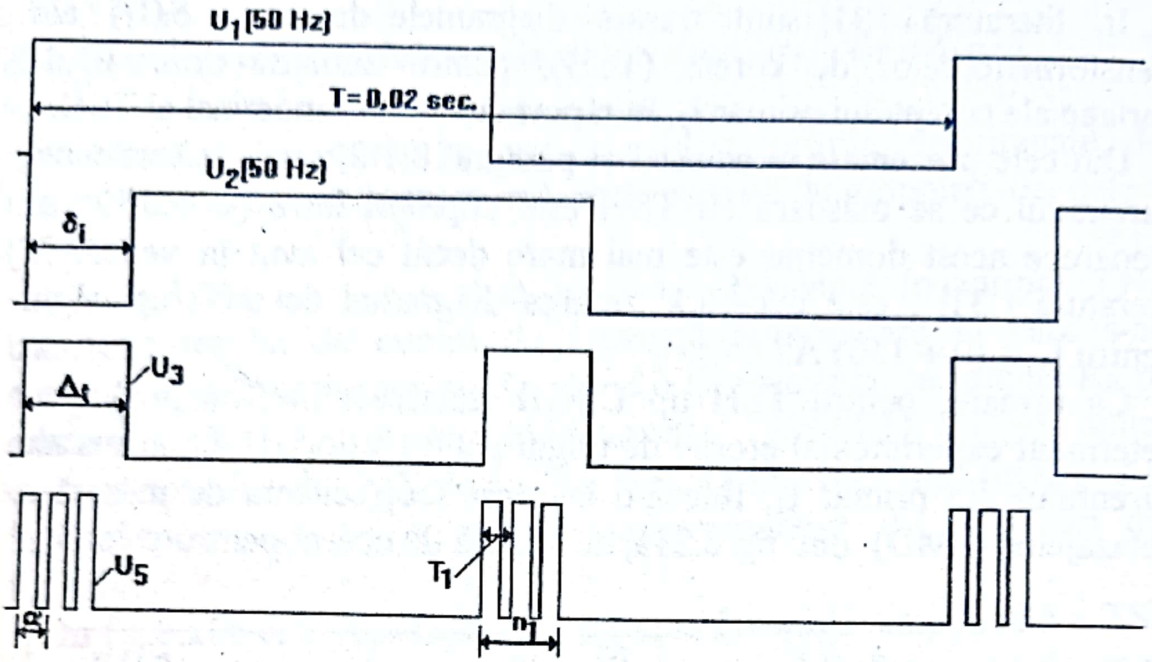


fig.8.21b

evaluează prin intermediul căderii de tensiune $\underline{U}_1=R_1\cdot\underline{I}_1$,pe rezistența R_1, fiind astfel independentă de prezența TSH (se asigură astfel independența curentului de defect din RED-MT de TSH), iar curentul $\underline{I}_2$ ca o cădere de tensiune pe rezistența de sarcină R_S, $\underline{U}_2=R_S\cdot\underline{I}_2$ așa cum se procedează și în schema dispozitivelor din fig. 8.4; 8.6; 8.10; 8.17; defazajul dintre tensiunile $\underline{U}_1$ și $\underline{U}_2$ va reprezenta tocmai eroarea de unghi δ_i, fig.8.21b, dintre $\underline{I}_1$ și $\underline{I}_2$, respectiv eroarea de unghi dintre curentul de defect din rețeaua de medie tensiune ($\underline{I}_{dez}^{d,S}$, $\underline{I}_{pp}$) și tensiunea $\underline{U}=R_S\cdot\underline{I}_2$ aplicată comparatoarelor de fază φ_1, φ_2, φ_3, fig.8.4; 8.6; 8.10; 8.17.

Din condiția ca elementul de măsură (U) al dispozitivelor concepute și prezentate în fig. 8.6; 8.10; 8.17 să fie acționat, prin intermediul tensiunii $\underline{U}_2$, de un curent primar $\underline{I}_1$ cu valoarea de minim 0,3 A s-a ales $R_S=0{,}15\ \Omega$ | 17| ; valoarea rezistenței R_1 nu influențează valoarea erorii δ_i, dar s-au ales valori astfel încât tensiunea $\underline{U}_1$ să nu depășească valorile admise de schema de măsură.

Scanned with OKEN Scanner

Deoarece defazajul δ_i are valori mici, neputând fi evaluat, de exemplu folosind imaginea de pe osciloscop a celor două mărimi sinusoidale $\underline{U}_1$ şi $\underline{U}_2$ obţinute direct de pe rezistenţele R_1 şi R_S, acesta s-a măsurat folosind un semnal suplimentar calibrat U_4 de 100 KHz şi o schemă adecvată de măsură, fig.8.21a. Tensiunile sinusoidale $\underline{U}_1$ şi $\underline{U}_2$ s-au transformat folosind circuitele comparatoare C_1 şi C_2 ca detectoare de trecere prin zero (DTZ), în semnale dreptunghiulare U_1 şi U_2, care vor trece de pe nivelul " jos" pe nivelul "sus" sau invers, când mărimile sinusoidale U_1, U_2 aplicate pe intrarea plus vor trece prin zero. Ca urmare, defazajul δ_i dintre $\underline{U}_1$ şi $\underline{U}_2$ se regăseşte între momentele "frontului" semnalelor U_1 şi U_2, fig.8.21b. Semnalele U_1 şi U_2 sunt introduse în circuitul SAU-EXCLUSIV şi la ieşirea acestuia se obţine semnalul U_3 a cărui durată Δt, pe nivelul "sus", este strict determinată de valoarea unghiului δ_i:

$$\Delta t = \frac{\delta_i}{360^\circ} \cdot T \text{ [sec]}, \qquad (8.37)$$

unde T este perioada corespunzătoare frecvenţei de 50 Hz.

Pentru măsurarea timpului Δt, semnalul U_3 se suprapune cu semnalul U_4 de 100 KHz, printr-o poartă "SI", astfel semnalul U_5 de la ieşirea acestuia va conţine un număr n_1 de semnale cu durata T_1-perioada semnalului de 100 KHz. Acest număr se poate determina fie prin intermediul imaginii de pe osciloscop (putând fi evaluate astfel şi fracţiuni ale sale) fie folosind un numărător pentru trenuri de impulsuri (N), fig.8.21a; în acest caz se va evalua numărul n_1 numai prin numere întregi. Ca urmare, unghiurile mici se vor determina folosind osciloscopul, iar cele mari folosind numărătorul (N).

Valoarea defazajului δ_i rezultă a fi:

$$\delta_i = \frac{360 \cdot \Delta t}{T} = \frac{360}{T} \cdot n_1 \cdot T_1 = n_1 \alpha \ [^\circ] \qquad (8.38)$$

unde:

Scanned with OKEN Scanner

$$\alpha = 360\frac{T_1}{T} = 10{,}8' \qquad (8.39)$$

este unghiul corespunzător perioadei de $T_1=10^{-5}$ sec, raportat la perioada semnalului de 50 Hz cu T=0,02 sec; deci eroarea de măsură introdusă de numărător este maxim 10,8', iar când se foloseşte osciloscopul aceasta va reprezenta fracţiuni ale unghiului α. Evident cu cât perioada T_1 a semnalului U_4 va fi mai mică cu atât şi eroarea schemei de măsură a unghului δ_i va fi mai mică, dar pentru ordinul de mărime al unghiurilor care se măsoară, erorile de măsură ale schemei se pot neglija.

In fig.8.22 s-a reprezentat variaţia erorii de unghi δ_i a TSH (CIRHI) în funcţie de valoarea curentului din primar $\underline{I}_1$, pe care s-au precizat valorile extreme ale erorilor de unghi, proprii TSH şi care pentru CIRHI au valorile $\delta_{i\max}(I_1 = 0{,}3\,A) = 5°$ şi $\delta_{i\min}(I_1 \geq 6\,A) \cong 20'$.

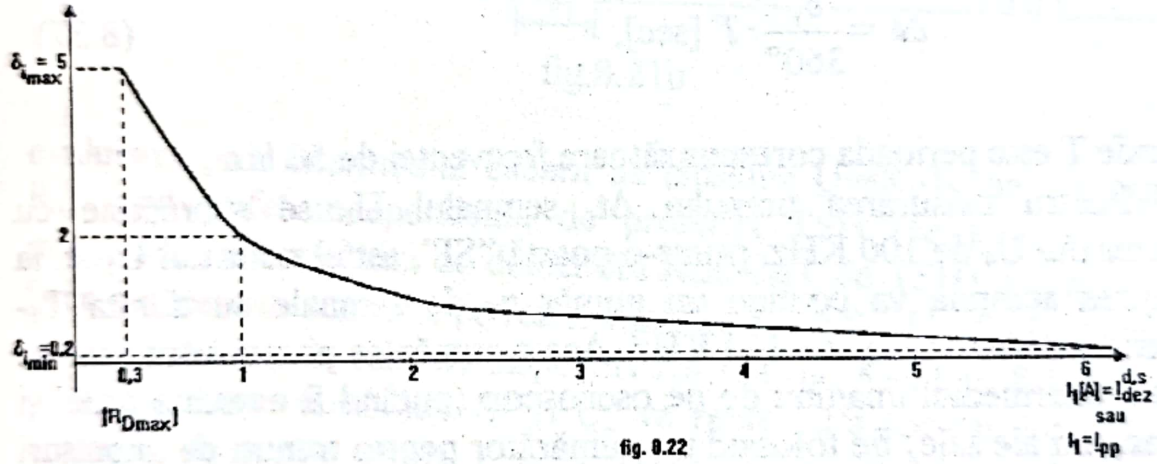


fig. 8.22

Obs.- S-a constatat, experimental, că prin modificarea poziţiei, centrarea cablului în interiorul TSH, nu se modifică practic valoarea erorii de unghi;

- Conform principiului metodei nu are importanţă forma de variaţie a erorii de unghi, în general, respectiv a erorii de unghi a TSH, ci doar limitele între care ia valori acest tip de eroare;

- La determinarea erorii de unghi de măsură a TSH, s-au folosit semnale alternative sinusoidale, nedeformate de eventualele armonici superioare pe care mărimile ce se controlează le pot conţine; aceasta

Scanned with OKEN Scanner

deoarece, aşa cum se va vedea mărimile ce se introduc în comparatoarele de fază sunt trecute prin filtre trece jos.

8.1.3.4. Efectul global al erorilor de unghi.

Aşa cum a rezultat din analiza erorilor de unghi, acestea sunt diferite în funcţie de tipul RED-MT. Ca urmare efectul global al tuturor erorilor de unghi asupra valorilor ideale ale defazajelor ce se controlează se va analiza pentru fiecare tip de RED-MT.

A. Efectul global al erorilor de unghi în RED-MT cu neutrul izolat.

Erorile de unghi considerate, care afectează defazajele ce se controlează conform metodei propuse, depind, aşa cum s-a arătat, de locul în care se măsoară acestea în raport cu locul în care s-a produs punerea monofazată la pământ.

In fig.8.23a s-a reprezentat un distribuitor al unei RED-MT cu neutrul izolat, cu o punere monofazată la pământ în punctul K, la sfârşitul acestuia, printr-o rezistenţă R_D $(0;\infty)$.

Deoarece se urmăreşte determinarea limitelor maxime şi minime ale efectului global al erorilor de unghi, pe de o parte, s-au determinat valorile maxime ale fiecărei erori de unghi, iar pe de altă parte, este necesar de determinat între ce limite este cuprins efectul global al acestor erori. Dintre cele trei erori (δ, δ_i, δ_T) care afectează defazajele care se măsoară, numai eroarea δ, determinată de căderea de tensiune pe distribuitor, este diferită de la un PT la altul, din lungul acestuia, celelalte două (δ_i şi δ_T) au aceleaşi valori în fiecare PT, de pe traseul curentului de defect.

Rezultă că din punct de vedere al efectului global al erorilor de unghi, dispozitivele din PT de pe distribuitorul cu defect se împart în două categorii, corespunzător celor două situaţii limită (a;b) definite în subparagraf 8.1.3.1A şi anume:

a) dispozitivul care se află imediat în amonte de locul cu defect (A_{1n}, fig.8.23a; A_{11}, fig.8.5) a căror defazaje, ce le măsoară, sunt afectate numai de erorile de unghi δ_i şi δ_T;

Scanned with OKEN Scanner

b) toate celelalte dispozitive din amonte de defect, exclusiv cel anterior, a căror defazaje, ce le măsoară, sunt afectate şi de eroarea de unghi δ determinată de căderile de tensiune de pe distribuitor, care se adaugă la efectul erorilor δ_i şi δ_T; valoarea maximă a acestei erori de unghi (δ_{max}), afectează defazajele măsurate de dispozitivul A_{10}, de la începutul distribuitorului, fig.8.23a, când defectul se produce în punctul K la sfârşitul acestuia.

Obs. Dintre cele trei erori de unghi, numai eroarea δ_i a TSH,depinde de valoarea rezistenţei de trecere la locul cu defect (R_D).

Pentru cazul reprezentat în fig. 8.23a (punere la pământ pe faza R, în punctul K, prin $R_D \in (0;\infty)$) să analizăm efectul global al erorilor de unghi ce afectează defazajul ideal $\varphi^d_{dez\,b}$ dintre tensiunea de fază $\underline{U}_b$, din secundarul transformatorului din PT, cu grupa de conexiuni ΔY_0-5 şi tensiunea $\underline{U}_r$, ce se aplică comparatorului de fază φ_1,fig.8.10, al dispozitivului A_{1n} (cazul de la aliniatul a).

In fig.8.23b se prezintă diagrama fazorială din care rezultă defazajul real $\varphi^d_{dez\,b_n}$ dintre tensiunea de fază $\underline{U}_{b_S}$ şi tensiunea $\underline{U}_r$, de la ieşirea TSH, ţinând cont de efectul global al erorilor de unghi δ_i şi δ_T, defazaj care conform fig.8.23b are valoarea:

$$\varphi^d_{dez\,b\,n} = \varphi^d_{dez\,b} - \delta_i - \delta_T = \varphi^d_{dez\,b} - \delta_{11} \qquad (8.40)$$

unde :

- δ_{11} este suma algebrică a erorilor de unghi ;
- δ_i - determinată de transformatorul de măsură de curent (TSH), fig.8.22 şi δ_T, fig.8.19 eroarea de unghi a transformatorului din PT, respectiv unghiul dintre tensiunea de fază din secundar $\underline{U}_{b_S}$ şi tensiunea de fază, raportată la primar, $\underline{U}_{b_p} = \dfrac{\underline{U}_{TS}}{\sqrt{3}\cdot K_T}$, fig.8.2.

Scanned with OKEN Scanner

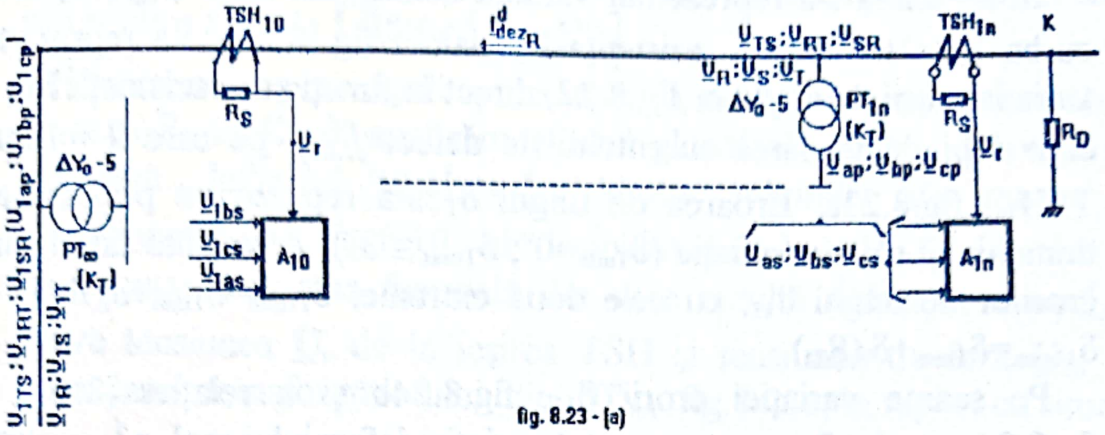


fig. 8.23 - [a]

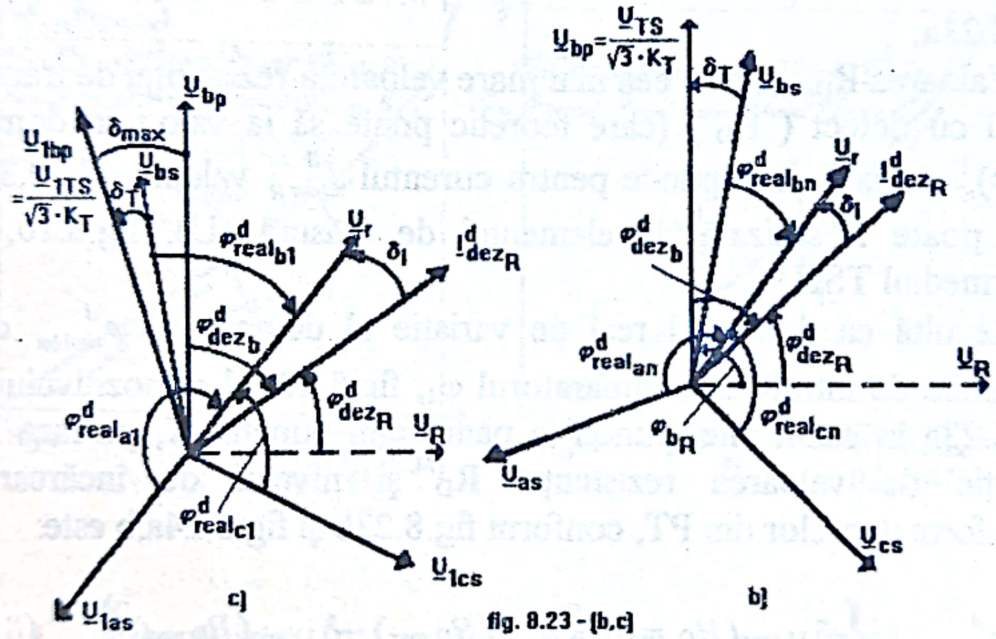


fig. 8.23 - [b,c]

- $\varphi^d_{dez\,b}$ - defazajul ideal, fig.8.8, fig.8.9a dintre $\underline{U}_{b_p}$ (neafectat de eroarea δ_T) şi $\underline{I}^d_{dez\,R}$;

- $\varphi^d_{dez\,R}$ - defazajul ideal dintre tensiunea $\underline{U}_R$ din RED-MT şi curentul $\underline{I}^d_{dez\,R}$, fig.8.8, fig.8.9a.

Obs. In relaţia (8.40) defazajele se consideră prin valorile lor absolute.

Scanned with OKEN Scanner

In fig.8.24a s-a reprezentat variaţia defazajului ideal $\varphi^{d}_{dez\,b}$ fig.8.9b, curba 1, în funcţie de rezistenţa R_D, iar în fig. 8.24b s-a reprezentat variaţia erorii de unghi δ_i ,fig.8.22, direct în funcţie de rezistenţa R_D, de care depinde valoarea curentului de defect $\underline{I}^{d}_{dez\,R}$ pe care îl măsoară TSH_{1n}, fig.8.23a. Eroarea de unghi δ_T s-a reprezentat prin limitele domeniului său de variaţie ($\delta_{Tmin}=0^o$; $\delta_{Tmax}\cong 3^o$). A rezultat astfel suma erorilor de unghi δ_{11}, cu cele două extreme: $\delta_{11min}=\delta_{Tmin}+\delta_i(R_D)$ şi $\delta_{11max}=\delta_{Tmax}+\delta_i(R_D)$.

Pe seama variaţiei erorii δ_{11}, fig.8.24b şi a relaţiei (8.40), în fig.8.24a, curba 2, s-a reprezentat variaţia defazajului real $\varphi^{d}_{real\,b\,n}$ dintre mărimile ce se aplică comparatorului φ_1, fig.8.10, al dispozitivului A_{1n}, fig.8.23a.

Valoarea R_{Dmax}, este cea mai mare valoare a rezistenţei de trecere la locul cu defect (R_D) (care teoretic poate să ia valori în domeniul $(0;\infty)$, căreia îi corespunde pentru curentul $\underline{I}^{d}_{dez\,R}$ valoarea de 0,3A ce mai poate fi sesizată de elementul de măsură (U), fig.8.10, prin intermediul TSH.

Rezultă că domeniul real de variaţie al defazajului $\varphi^{d}_{real\,bn}$ dintre mărimile de intrare în comparatorul φ_1, fig.8.10, al dispozitivului A_{1n}, fig.8.23a în cazul unei puneri la pământ în punctul K, pe faza R, în funcţie de valoarea rezistenţei R_D şi nivelul de încărcare al transformatoarelor din PT, conform fig.8.23b şi fig.8.24a,b este:

$$\varphi^{d}_{real\,b\,n}\in\left\{-\delta_{11\,max}(R_D=0);\left[\varphi^{d}_{dez\,b}(R_{D\,max})-\delta_{11\,min}(R_{D\,max})\right]\right\} \qquad (8.41)$$

unde:- $\delta_{11max}(R_D=0)=\delta_{Tmax}+\delta_{i\ min}$; s-a considerat transformatorul încărcat la sarcina maximă (nominală) ($\delta_T=\delta_{Tmax}$, (8.28)), iar $\delta_i(R_D=0)=\delta_{i\,min}$, deoarece $\underline{I}^{d}_{dez}(R_D=0)>6A$, fig.8.22;

- $\delta_{11min}=\delta_{Tmin}+\delta_{i\,max}(R_D=R_{Dmax})\cong\delta_{i\,max}$, deoarece $\delta_{Tmin}=0$, iar $\delta_{i\,max}$ (fig.8.22), este eroarea de unghi maximă a TSH când $\underline{I}^{d}_{dez}=0{,}3$ A.

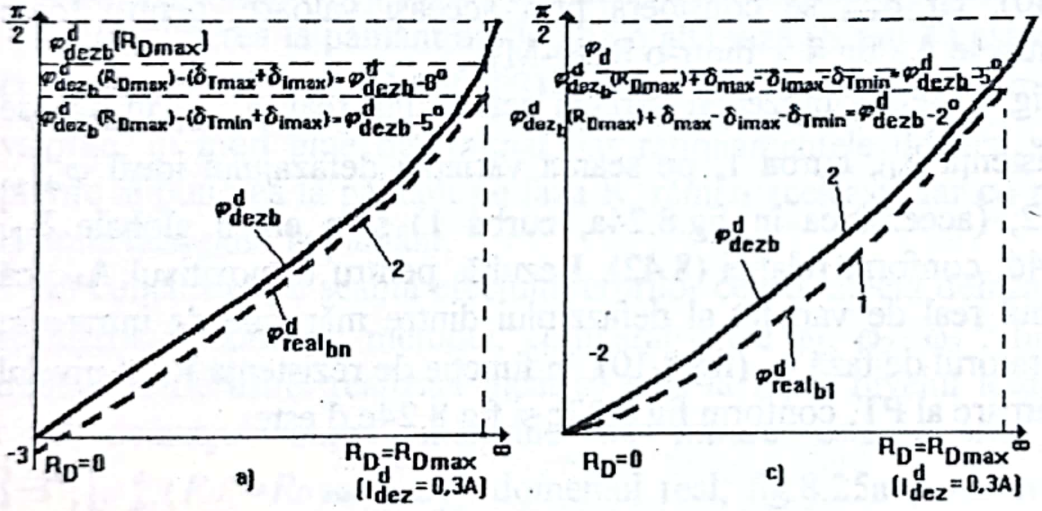
Se constată că domeniul real de variaţie al defazajului dintre mărimile de intrare în comparatorul φ_1 al dispozitivului A_{1n}, fig.8.23a,

Scanned with OKEN Scanner

este diferit de cel ideal $(0;\pi/2)$ şi mai mic decât acesta putând să ia valori între limitele $\left[-3°;(\varphi^{d}_{real\,b} - 5°)\right]$.

Pentru aceeaşi situaţie reprezentată în fig.8.23a, punere la pământ pe faza R, în K, să analizăm efectul global al erorilor de unghi ce afectează defazajul ideal $\varphi^{d}_{dez\,b}$ dintre mărimile de intrare în comparatorul φ_1, fig.8.10, al dispozitivului A_{10}. In fig. 8.23c s-a reprezentat diagrama fazorială din care rezultă defazajul real $\varphi^{d}_{real\,b1}$ dintre tensiunea $\underline{U}_r$ de la ieşirea TSH şi tensiunea de fază $\underline{U}_{1b}$ din secundarul transformatorului din PT_{00}, fig.8.23a; în raport cu situaţia

fig. 8.24 - (a,c)



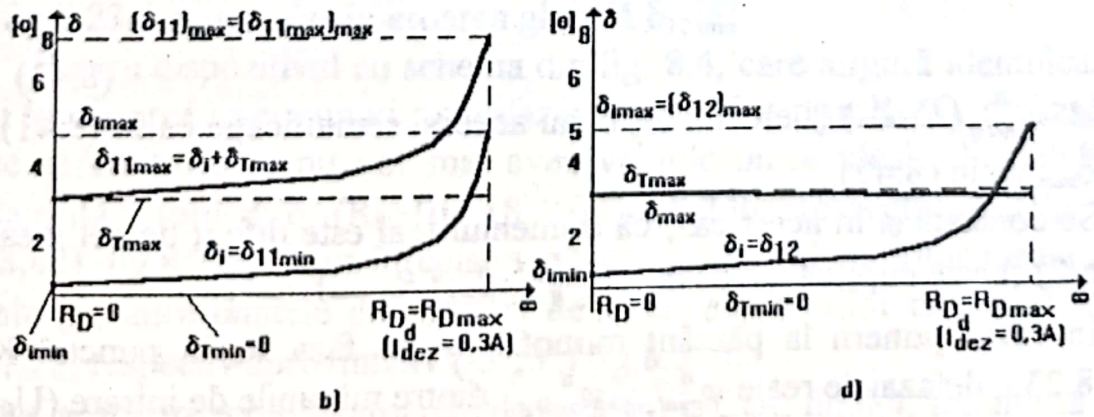


fig. 8.24 - (b,d)

Scanned with OKEN Scanner

din fig.8.23b tensiunea $\underline{U}_{1b_S}$ este afectată de eroarea de unghi δ_{max} ce corespunde căderii de tensiune maxime, fig.8.19, dintre tensiunea $\underline{U}_b = \underline{U}_{b_p}$, raportată la primar, de la sfârşitul distribuitorului şi tensiunea $\underline{U}_{1b} = \underline{U}_{1b_p}$ de la începutul acestuia; celelalte defazaje $\varphi^d_{dez\,R}$, $\varphi^d_{dez\,b}$ şi erori de unghi de măsură au aceeaşi semnificaţie din fig.8.23b.

Ca urmare, conform fig.8.23c, defazajul real $\varphi^d_{real\,b1}$ are expresia:

$$\varphi^d_{real\,b1} = \varphi^d_{dez\,b} + \delta_{max} - (\delta_i + \delta_r) = \varphi^d_{dez\,b} - \delta_{12} \qquad (8.42$$

unde: $\delta_{12}=\delta_{11}-\delta_{max}$, iar eroarea de unghi δ_{11} are aceeaşi semnificaţie ca în (8.40), iar δ_{max} se consideră prin aceeaşi valoare, pentru toate dispozitivele A_{i0}, fig.8.5, dintr-o RED-MT.

In fig.8.24c s-a prezentat variaţia defazajului real $\varphi^d_{real\,b1}$ în funcţie de rezistenţa R_D, curba 1, pe seama variaţiei defazajului ideal $\varphi^d_{dez\,b}$, curba 2, (aceeaşi ca în fig.8.24a, curba 1) şi a erorii globale δ_{12}, fig.8.24d, conform relaţiei (8.42). Rezultă, pentru dispozitivul A_{10}, că domeniul real de variaţie al defazajului dintre mărimile de intrare în comparatorul de fază φ_1 (fig.8.10), în funcţie de rezistenţa R_D şi nivelul de încărcare al PT, conform fig.8.23c şi fig.8.24c,d este:

$$\varphi^d_{real\,b1} \in \left\{\left[\delta_{max} - (\delta_{T\,min} + \delta_{i\,min})\right]\left[\varphi^d_{dez\,b}(R_{D\,max}) + \delta_{max} - (\delta_{T\,min} + \delta_{1\,max})\right]\right\} \qquad (8.43)$$

unde: $\varphi^d_{dez\,b}(R_{D\,max})$ şi erorile δ_T, δ_i au aceeaşi semnificaţie ca în (8.41), iar δ_{max} ca în (8.42).

Se constată şi în acest caz, că domeniul real este diferit de cel ideal $(0;\pi/2)$ şi este cuprins între limitele $\left[3; \varphi^d_{dez\,b}(R_{D\,max}) - 2°\right]$.

In cazul punerii la pământ monofazate pe faza R, în punctul K fig.8.23a, defazajele reale $\varphi^d_{real\,cn}$, $\varphi^d_{real\,an}$ dintre mărimile de intrare ($\underline{U}_R$, $\underline{U}_{cS}$, $\underline{U}_r$, $\underline{U}_{aS}$), fig.8.23b (unde $\underline{U}_{cS}$, $\underline{U}_{aS}$ sunt tensiunile reale din

secundarul transformatorului de forță din PT_{1n}), în comparatoarele φ_2 și φ_3, (fig.8.10) ale dispozitivului A_{1n}, fig.8.23a, vor fi diferite de cele ideale $\varphi^{d}_{dez\,c}, \varphi^{d}_{dez\,a}$, datorită efectului erorii globale δ_{11} (8.40), iar domeniul de variație real își va modifica limitele din tab.8.1 și tab.8.2 pe seama efectului aceleiași erori δ_{11}.

In mod similar, defazajele reale $\varphi^{d}_{real\,c1}, \varphi^{d}_{real\,a1}$ dintre mărimile de intrare ($\underline{U}_r$, $\underline{U}_{1c}$), ($\underline{U}_r$, $\underline{U}_{1a}$), fig.8.23c în comparatoarele φ_2, φ_3 ale dispozitivelor A_{10} (unde $\underline{U}_{1c_S}, \underline{U}_{1a_S}$ sunt tensiunile de fază reale din secundarul transformatorului din PT_{00}), vor fi diferite de cele ideale $\varphi^{d}_{dez\,c}, \varphi^{d}_{dez\,a}$, datorită efectului erorii globale (8.42) modificându-se și limitele domeniului de variație, față de cele ideale (tab.8.1, tab.8.2).

Dacă punerea la pământ are loc pe o altă fază (S sau T) așa cum se cunoaște (fig.8.2, tab.8.1, tab.8.2) defazajele ideale $\varphi^{d}_{dez\,a,b,c}$ își modifică valorile, în mod bine determinat, iar raționamentele de mai sus, cu privire la punerea la pământ pe faza R, rămân aceleași, dar cu referire la noua fază pusă la pământ.

In concluzie, pe seama efectului erorilor ce pot afecta defazajele ce se măsoară, conform metodei, comparatoarele φ_1, φ_2, φ_3 , fig.8.10, trebuie să fie astfel realizate încât să aibă la ieșire nivelul logic zero când defazajul dintre mărimile de intrare este cuprins între $\left\{-3°; \left[\varphi^{d}_{dez}(R_D = R_{D\,max}) - 2\right]\right\}$, domeniul real, fig.8.25a și nu între (0; $\pi/2$), domeniul ideal, cum s-a considerat în fig.8.10; s-a reprezentat numai tensiunea $\underline{U}_{b_S}$, fig.8.23b, defazajul δ dintre tensiunile $\underline{U}_{b_S}$ și $\underline{U}_{1b_S}$ (fig.8.23c) este inclus în eroarea globală $\delta_{12\,min}$.

Pentru dispozitivul cu schema din fig. 8.4, care asigură identificarea și localizarea unei puneri monofazate la pământ prin R_D=0, defazajele ce se controlează nu vor mai avea valorile unice ideale din tab.8.1; datorită erorilor $\delta_{11}(R_D=0)$, (8.40) fig.8.24b, respectiv $\delta_{12}(R_D=0)$, (8.42), fig.8.24c; se va înregistra o variație în jurul valorilor ideale din tab.8.1, între limitele domeniului de variație a erorilor globale δ_{11max}, δ_{12max}, respectiv aproximativ (-3°;3°) fig.8.25b.

Ca urmare, comparatoarele de fază φ_1, φ_2, φ_3, fig.8.4, trebuie să fie astfel realizate încât să aibă la ieșire nivelul logic zero când defazajul

Scanned with OKEN Scanner

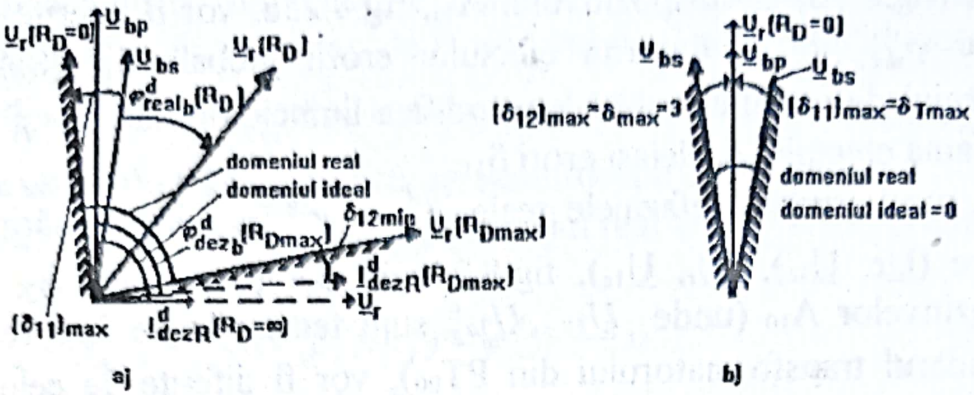


fig. 8.25 - (a,b)

dintre mărimile de intrare este cuprins între zero şi $(\delta_{11})_{max}=8°$, fig.8.25b.

Obs. Deoarece pe distribuitorii fără defect erorile de unghi δ_{Smax} (I.7) şi δ_{Tmax}, (I.8), de pe fazele sănătoase, respectiv $\delta_{n\,max}$, (I.4), de pe faza pusă la pământ, pe alt distribuitor (şi pe care circulă numai curentul de sarcină maximă, deoarece $\underline{I}_{R0_R}=0$) determinate de căderile de tensiune, sunt mai mici decât pe distribuitorul cu defect, iar celelalte două erori δ_T şi δ_i variază între aceleaşi limite, rezultă că limitele domeniului de variaţie al erorilor globale δ_{11}, δ_{12} măsurate de dispozitivele A_{ij}, fig.8.5, de pe distribuitorii fără defect, sunt incluse în cele determinate anterior, fig.24b,d, pentru dispozitivele de pe distribuitorul cu defect.

Ca urmare, limitele domeniilor de variaţie ale defazajelor ideale $\varphi^{S}_{dez\,a,b,c}$ (8.16), (tab.8.1, tab.8.2) se vor modifica şi ele, pe seama erorilor globale δ_{11}, δ_{12}; aceste modificări vor fi însă mai mici decât în cazul defazajelor măsurate de dispozitivele A_{10}, A_{11}, fig.8.5, parcurse de curentul $\underline{I}^{d}_{dez\,R}$. In fig. 8.26 se prezintă limitele reale între care se modifică defazajul real φ^{S}_{real}, când rezistenţa R_D ia valori în domeniul $(0;R_{Dmax})$; şi în acest caz s-a procedat ca în cazul din fig.8.25a, reprezentându-se numai tensiunea $\underline{U}_{bS}$.

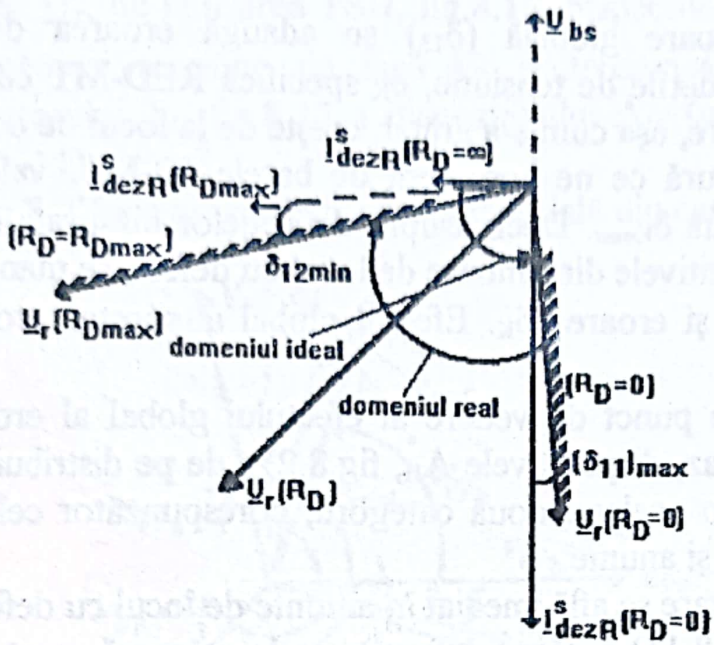


fig. 8.26

B.Efectul global al erorilor de unghi în RED-MT cu neutrul legat la pământ prin rezistență.

In fig.8.27a s-a reprezentat un distribuitor al unei RED-MT cu neutrul legat la pământ prin rezistență (R_N) de lungime L_{max}(tab.I.1) care alimentează un număr n de PT, cu o punere la pământ pe faza R, în punctul K, la sfârșitul acestuia printr-o rezistență $R_D \in (R_{Dlim};\infty)$. In aceste rețele la erorile de unghi: δ_i și δ_T (a căror efect cumulat s-a notat δ_{11}, (8.40), care s-au prezentat în paragraful anterior, pentru RED-MT cu neutrul izolat, se adaugă eroarea de unghi δ_D, determinată de abaterea defazajelor ideale $\varphi_{ppR}, \varphi_{ppS}, \varphi_{ppT}$, dintre curentul de punere monofazată la pământ $\underline{I}_{ppR}$ și tensiunile de fază $\underline{U}_R, \underline{U}_S, \underline{U}_T$, din RED-MT de la valorile ideale (tab.8.3) când R_D variază în domeniul $(R_{Dlim};\infty)$. Aceste trei tipuri de erori de unghi δ_i, δ_T, δ_D, afectează defazajele măsurate de toate dispozitivele A_{1i}, fig.8.27a, parcurse de curentul $\underline{I}_{ppR}$, de pe distribuitor. Efectul lor global se va nota δ_{13}.

Scanned with OKEN Scanner

La această eroare globală (δ_{13}) se adaugă eroarea de unghi determinată de căderile de tensiune, δ_K specifică RED-MT cu neutrul legat la pământ care, aşa cum s-a arătat, creşte de la locul de defect (K, fig.8.27a) pe măsură ce ne apropiem de barele ID-MT, valoarea ei maximă fiind notată δ_{Kmax}. Deci, asupra defazajelor măsurate conform metodei, de dispozitivele din amonte de locul cu defect, se manifestă pe lângă eroarea δ_{13} şi eroarea δ_K. Efectul global al acestor erori se va nota δ_{14}.

Rezultă că, din punct de vedere al efectului global al erorilor de unghi şi în acest caz, dispozitivele A_{1i}, fig.8.27a de pe distribuitorul cu defect se împart în aceleaşi două categorii, corespunzător celor două situaţii limită (a;b) şi anume:

a) dispozitivul care se află imediat în amonte de locul cu defect (A_{1n}, fig.8.27a, A_{21}, fig.8.11) a căror defazaje, ce le măsoară, sunt afectate de eroarea globală δ_{13};

b) dispozitivele din amonte, exclusiv cel anterior, a căror defazaje, ce le măsoară, sunt afectate şi de eroarea δ_K; valoarea maximă a acestuia, δ_{Kmax},, afectează defazajele măsurate de dispozitivul A_{10}, fig.8.27a, de la începutul distribuitorului când punerea la pământ se produce, în K, la sfârşitul acestuia; eroarea globală fiind δ_{14}.

Pentru cazul reprezentat în fig. 8.27a (punere la pământ pe faza R, prin $R_D \geq R_{Dlim}$ să analizăm efectul global al erorilor de unghi ce afectează defazajul ideal $\varphi'_{pp_b} = \pi/2$, dintre tensiunea de fază $\underline{U}_b$ şi

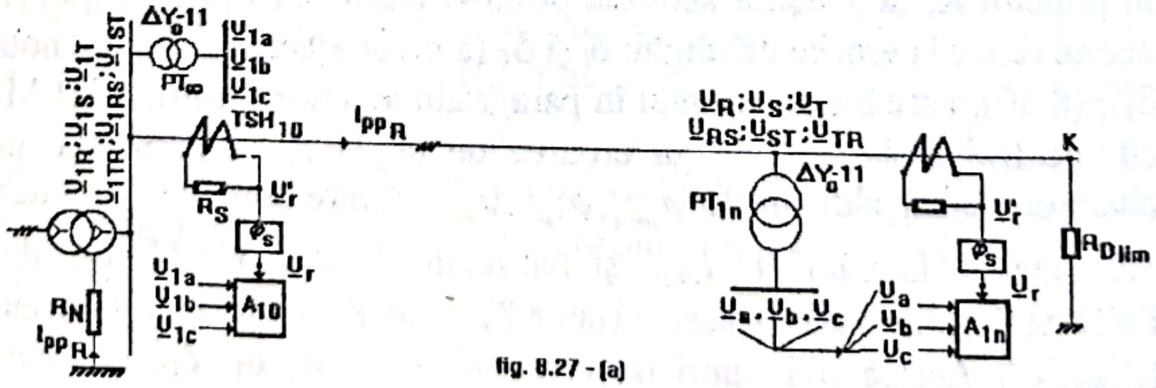


fig. 8.27 - (a)

tensiunea $\underline{U}'_r$, de la ieşirea TSH, fig.8.16, respectiv $\varphi_{ppb}=0$, tab.8.3a, dintre aceeaşi tensiune de fază $\underline{U}_b$ şi tensiunea $\underline{U}_r$ ce se aplică comparatorului φ_1, fig.8.17 a dispozitivului A_{1n} (grupa de conexiuni este ΔY_0-11).

In fig.8.27b se prezintă diagrama fazorială din care rezultă defazajul

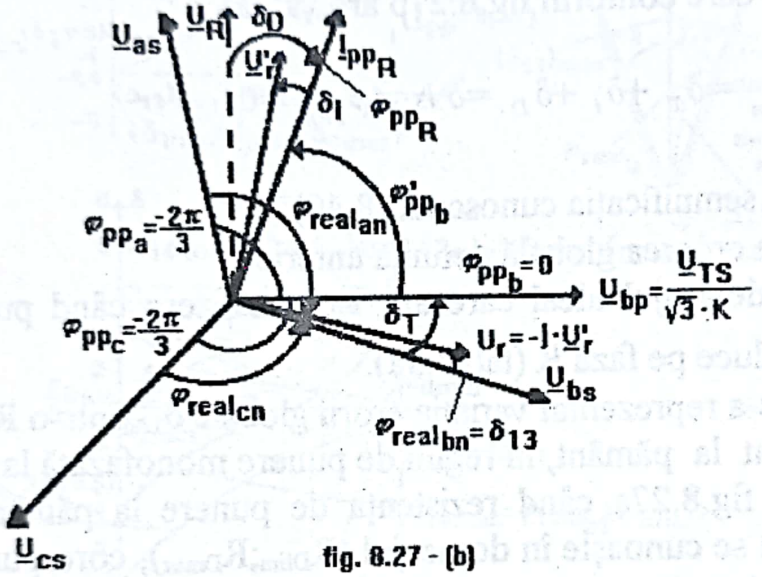


fig. 8.27 - (b)

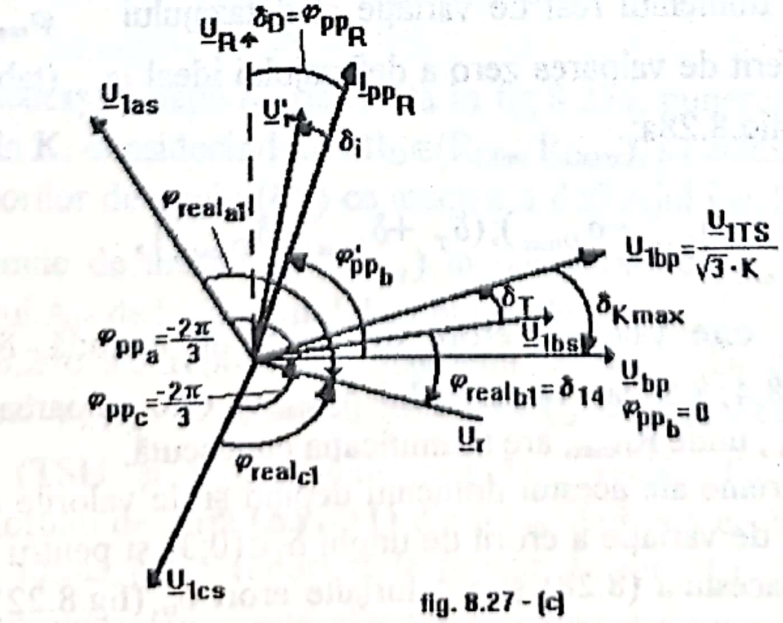


fig. 8.27 - (c)

Scanned with OKEN Scanner

real $\varphi_{real\,b_n}$, dintre tensiunea $\underline{U}_r = -j\underline{U}'_r = jR_S \cdot K_T \cdot \underline{I}^{bi}_{PP_R}$ (fig.8.16, fig.8.17) şi tensiunea $\underline{U}_{b_S}$, (tensiunea de fază $\underline{U}_b$, reală, din secundarul transformatorului de forţă din PT, defazată cu δ_T, fig.8.19 faţă de cea ideală, $\underline{U}_{b_p}$, raportată la primar) ce se aplică comparatorului φ_1, al dispozitivului A_{1n} din PT_{1n}, ţinând cont de efectul global al erorilor δ_i, δ_T, δ_D, defazaj care conform fig.8.27b are valoarea :

$$\varphi_{real\,b_n} = \delta_T + \delta_i + \delta_D = \delta_{13} \neq \varphi_{pp_b} = 0 \qquad (8.44)$$

unde: - δ_{11} are semnificaţia cunoscută (8.40);

- δ_{13} este eroarea globală definită anterior;
- φ_{pp_b}, defazajul ideal care are valoarea zero când punerea la pământ se produce pe faza R (tab.8.3a).

In fig.8.28 s-a reprezentat variaţia erorii globale δ_{13}, într-o RED-MT cu neutrul legat la pământ, în regim de punere monofazată la pământ, în punctul K, fig.8.27a când rezistenţa de punere la pământ R_D ia valori, aşa cum se cunoaşte în domeniul $(R_{Dlim};R_{Dmax})$, corespunzătoare dispozitivului A_{1n}; R_{Dmax}, are aceeaşi semnificaţie ca în paragraful anterior, fig.8.24.

Rezultă că domeniul real de variaţie al defazajului $\varphi_{real\,b_n} = \delta_{13}$ (8.44) este diferit de valoarea zero a defazajului ideal φ_{pp_b} (tab.8.3a) şi este, conform fig.8.28a:

$$\varphi_{real\,b_n} \in \left[(\delta_T + \delta_{i\min} - \delta_{D\max});(\delta_T + \delta_{i\max} - \delta_{D\min})\right], \qquad (8.45)$$

unde: - $\delta_{D\max}$ este valoarea erorii de unghi de metodă, δ_D, când $R_D=R_{Dlim}$, tab.8.4÷8.5, iar valoarea lui $\delta_{Dmin}\cong 0$, este valoarea lui δ_D, când $R_D=R_{Dmax}$, unde R_{Dmax}, are semnificaţia cunoscută.

Valorile extreme ale acestui domeniu depind şi de valorile extreme ale domeniului de variaţie a erorii de unghi $\delta_T \in (0;3)$ şi pentru valorile cunoscute ale acestuia (8.28) şi a celorlalte erori δ_i, (fig.8.22), δ_{Dmax}, (tab.8.4÷8.5), acestea sunt (-4,4°;8°).

Scanned with OKEN Scanner

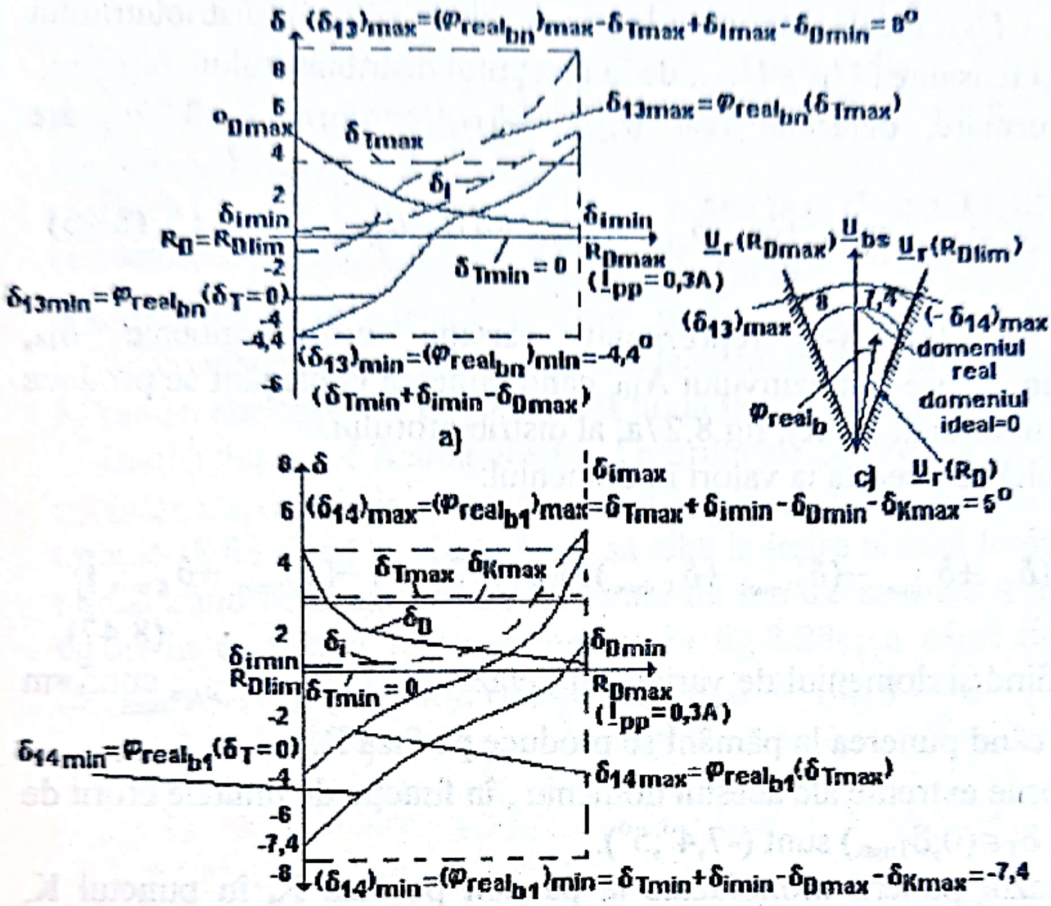


fig. 8.28 - (a,b,c)

Pentru aceeaşi situaţie reprezentată în fig.8.27a, punerea la pământ pe faza R, în K, considerând însă $R_D \in (R_{Dlim}; R_{Dmax})$, să analizăm efectul global al erorilor de unghi (δ_{14}) ce afectează defazajul ideal ($\varphi_{pp_b} = 0$) dintre mărimile de intrare (U_r; U_{1b_S}) în comparatorul φ_1, fig.8.17 al dispozitivului A_{10} de la începutul distribuitorului.

In fig. 8.27c s-a reprezentat diagrama fazorială din care rezultă defazajul real $\varphi_{real\,b_i} = \delta_{14}$, dintre tensiunea $\underline{U}_r$ de la ieşirea circuitului de curent (TSH şi φ_S) şi tensiunea $\underline{U}_{1b}$, reală, din secundarul transformatorului de forţă (ΔY_0-11) din PT_{00}, defazată cu δ_T (fig.8.19) faţă de cea ideală $\underline{U}_{1b_P}$, raportată la primar. In raport cu situaţia din fig.8.27b tensiunea $\underline{U}_{1b_S}$ este afectată de eroarea de unghi δ_{Kmax} ce

corespunde căderii de tensiune maxime, fig.8.18, dintre tensiunea de fază $\underline{U}_b = \underline{U}_{b_P}$, ideală, raportată la primar, de la sfârşitul distribuitorului (PT_{1n}) şi tensiunea $\underline{U}_{1b} = \underline{U}_{1b_P}$, de la începutul distribuitorului.

Ca urmare, defazajul real $\varphi_{real\,b_1} = \delta_{14}$, conform fig.8.27c, are expresia:

$$\varphi_{real\,b_1} = \delta_T + \delta_i - \delta_D - \delta_{K\max} = \delta_{13} - \delta_{K\max} = \delta_{14} \qquad (8.46)$$

In fig.8.28b s-a reprezentat variaţia erorii globale δ_{14}, corespunzătoare dispozitivului A_{10}, când punerea la pământ se produce la capătul celălalt (în K), fig.8.27a, al distribuitorului.

Rezultă că aceasta ia valori în domeniul:

$$\delta_{14} \in \left\{ \left[(\delta_T + \delta_{i\min}) - (\delta_{D\max} + \delta_{K\max}) \right] \left[(\delta_T + \delta_{i\min}) - (\delta_{D\min} + \delta_{K\max}) \right] \right\} \qquad (8.47)$$

acesta fiind şi domeniul de variaţie al defazajului real $\varphi_{real\,b_1}$, conform (8.46), când punerea la pământ se produce pe faza R.

Valorile extreme ale acestui domeniu , în funcţie de limitele erorii de măsură $\delta_T \in (0;\delta_{T\max})$ sunt $(-7{,}4^\circ;5^\circ)$.

In cazul punerii monofazate la pământ pe faza R, în punctul K, fig.8.27a defazajele reale $\varphi_{real\,c_n}, \varphi_{real\,a_n}$ dintre mărimile de intrare $((\underline{U}_r, \underline{U}_{c_S}), (\underline{U}_r, \underline{U}_{a_S})$ fig.8.27b (unde $\underline{U}_{c_S}, \underline{U}_{a_S}$ sunt tensiunile reale din secundarul transformatorului din PT_{1n}, în comparatoarele de fază φ_2, φ_3, fig.8.17 ale dispozitivului A_{1n}) vor fi diferite de cele unice, ideale $\varphi_{pp_c}, \varphi_{pp_a}$, tab.8.3a, datorită efectului erorii globale δ_{13} (8.44); se va manifesta o variaţie în jurul valorilor ideale $2\pi/3$, $-2\pi/3$, între limitele domeniului de variaţie al erorii globale δ_{13}, fig.8.28a, când $R_D \in (R_{Dlim}; R_{Dmax})$.

In mod similar, defazajele $\varphi_{real\,c_1}, \varphi_{real\,a_1}$ dintre mărimile de intrare $(\underline{U}_r, \underline{U}_{1c_S}), (\underline{U}_r, \underline{U}_{1a_S})$, fig.8.27c, în comparatoarele φ_2, φ_3 ale dispozitivului A_{10}, 8.27a (unde $\underline{U}_{1c_S}, \underline{U}_{1a_S}$ sunt tensiunile de fază reale din secundarul transformatorului din PT_{00}), vor fi diferite de cele ideale

Scanned with OKEN Scanner

φ_{pp_c},φ_{pp_a}, datorită efectului erorii globale δ_{14}(8.46); se va înregistra o variaţie în jurul valorilor ideale $2\pi/3$; $-2\pi/3$ radiani, între limitele domeniului de variaţie al erorii globale δ_{14}, fig.8.28c când $R_D \in (R_{Dlim}; R_{Dmax})$.

Dacă punerea la pământ are loc pe o altă fază (S sau T), aşa cum se cunoaşte, tab.8.3b, tab.8.3c, defazajele $\varphi_{pp_{a,b,c}}$ au valori ideale, unic determinate, însă efectul erorilor globale δ_{13}, δ_{14} va fi acelaşi, raţionamentele de mai sus, cu privire la cazul punerii la pământ pe faza R, rămân aceleaşi, dar cu referire la noua fază pusă la pământ.

In concluzie, pe seama efectului erorilor ce pot afecta defazajele ce se măsoară, conform metodei, comparatoarele φ_1, φ_2, φ_3 fig.8.17, trebuie să fie astfel realizate încât să aibă la ieşire nivelul logic zero nu numai când defazajul dintre mărimile de intrare este zero, ci când ia valori în domeniul real reprezentat în fig.8.28c, a cărui limite sunt $(\delta_{14})_{max} = -7{,}4°$ (fig.8.28b), respectiv $(\delta_{13})_{max} = 8°$ (fig.8.28a).

Scanned with OKEN Scanner

8.1.4. Comportarea dispozitivului de identificare şi localizare a punerii monofazate la pământ la alte tipuri de defecte.

Aşa cum este cunoscut, pentru fiecare tip de defect, specific unei anumite categorii de reţele există metode şi dispozitive distincte pentru a le identifica, localiza şi lichida (cap.6;7). In aceste condiţii una din cerinţele impuse fiecărui tip de mijloc de protecţie (soluţie tehnică de aplicare a unei metode) este siguranţa în a acţiona întotdeauna când este necesar şi numai când este necesar [8].

Ca urmare, pentru metoda expusă în acest capitol şi schemele de principiu ale dispozitivelor de aplicare a acesteia, este necesar să se cunoască cum se comportă la celelalte tipuri de defecte, proprii fiecărei categorii de RED-MT.

8.1.4.1. Reţele electrice de distribuţie cu neutrul izolat.

Principiul metodei se bazează pe existenţa, la nivelul sistemului trifazat de curenţi de pe un distribuitor, a unei rezultante a sumei lor vectoriale, ce poate fi măsurată cu un filtru de curent de secvenţă homopolară şi anume $\underline{I}^{S}_{dez}$ pe distribuitorii fără defect şi $\underline{I}^{d}_{dez}$ pe distribuitorul cu defect.

In RED-MT cu neutrul izolat asemenea curenţi pot să apară, în afara punerii monofazate la pământ şi în următoarele situaţii:

a) regim normal de funcţionare, datorită capacităţilor diferite faţă de pământ ale conductoarelor de fază; în cazul LEA aceşti curenţi au valori de ordinul (mA| Kv| Km), iar în LES sunt practic zero [14].

b) scurtcircuit bifazat cu punere la pământ;

c) dublă punere la pământ pe distribuitorii diferiţi; în acest caz nu există un curent de secvenţă homopolară însă pe faza pusă la pământ a fiecărui distribuitor circulă curentul de defect bifazat care, deşi are numai componentele de secvenţă directă şi inversă, prin intermediul, TSH, face să se măsoare curentul de dezechilibru $\underline{I}^{d}_{dez}$ pe un distribuitor şi $-\underline{I}^{d}_{dez}$ pe celălalt distribuitor. Un caz particular îl reprezintă dubla punere la pământ pe tronsoane diferite ale aceluiaşi distribuitor;

Scanned with OKEN Scanner

d) scurtcircuitul trifazat nesimetric cu punere la pământ, se poate considera ca un regim de sarcină nesimetric, din punct de vedere al metodei, curentul, măsurat cu TSH, are valori mici în raport cu cei corespunzători celorlalte tipuri de defecte, fiind rezultanta sumei unui sistem de trei curenți într-un sistem cu neutrul izolat. In | 7| toate tipurile de scurtcircuit trifazat considerate nu determină şi o componentă homopolară de curent.

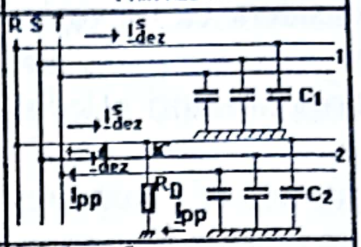
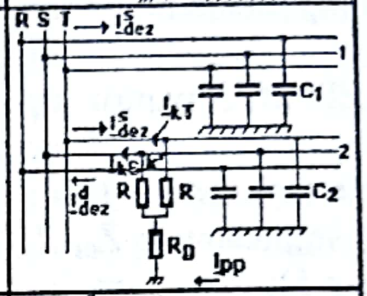
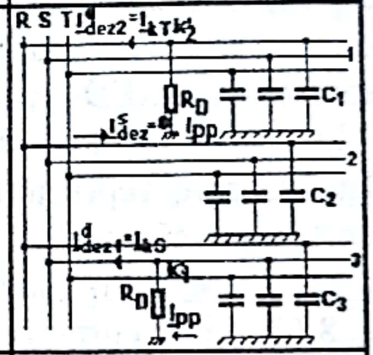
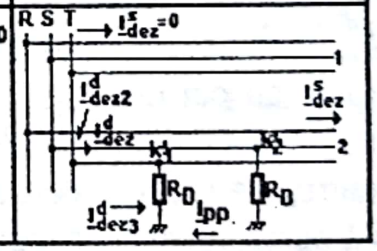
In tab.8.6 s-au sintetizat expresiile curenților care circulă prin RED-MT, pentru tipurile de defecte considerate anterior şi care determină curenți de dezechilibru | 42| . In toate cazurile s-a adoptat ca referință aceeaşi t.e.m. (E) de secvență directă a sursei, de pe faza R, iar impedanțele Z_d, Z_i, Z_0 şi capacitatea C_0 au semnificația cunoscută (cap.5); s-a considerat ipoteza $Z_0 >> Z_d = Z_i$, specifică RED-MT cu neutrul izolat. Pentru fiecare tip de defect, în acelaşi tabel 8.6 s-a reprezentat şi RED-MT cu defect şi circulația de curenți.

In raport cu situația corespunzătoare unei puneri monofazate la pământ, care reprezintă situația de referință (cazul a, tab.8.6) s-au constatat următoarele:

1) - în regim de scurtcircuit bifazat cu punere la pământ (cazul b, tab.8.6) există curenți de dezechilibru atât pe distribuitorul cu defect ($\underline{I}^d_{dez}$) cât şi pe distribuitorii sănătoşi ($\underline{I}^S_{dez}$); dar fiecare din aceştia, în raport cu cei din regim de punere monofazată la pământ au, pe de o parte valori mai mici (de cel puțin două ori, limita inferioară se obține pentru R=0, ceea ce constituie un scurtcircuit bifazat ferm), iar pe de altă parte, au sensuri opuse în raport cu cei din cazul a;

2) - în regim de dublă punere la pământ, care într-o RED-MT cu neutrul izolat reprezintă un caz particular al scurtcircuitului bifazat (în expresiile analitice ale mărimilor | 42| se înlocuieşte R cu R_D, aşa cum rezultă şi din schema simplificată a RED-MT cu o dublă punere la pământ, reprezentată în tab.8.6) deşi nu există curent de secvență homopolară (şi ca urmare, pe distribuitorii fără defect curentul $\underline{I}^S_{dez}$, măsurat cu TSH, este zero), pot apărea situații în care TSH să măsoare totuşi un curent de dezechilibru. Astfel, dacă dubla punere la pământ se produce pe distribuitori diferiți (cazul C_1, tab.8.6) atunci, cu TSH se măsoară, pe fiecare din cei doi distribuitori, curentul de pe faza cu

Scanned with OKEN Scanner

	TIP DEFECT	$\underline{I}_{pp}$	$\underline{I}^{s}_{dez}$	$\underline{I}^{d}_{dez}$	CIRCULATIA DE CURENTI PRIN RED-MT
a	Punere monofazata la pamint $Z_0=\Sigma\frac{1}{j\omega C_{0i}}$	$\frac{3\underline{E}}{Z_0+3R_D}$	$\frac{-3\underline{E}j\omega C_0 Z_0}{Z_0+3R_D}$	$\frac{3\underline{E}[1-j\omega C_0 Z_0]}{Z_0+3R_D}$	
b	Scurtcircuit bifazat cu punere la pamint	$\frac{-3\underline{E}}{2Z_0+6R_D+3R}$	$\frac{3\underline{E}j\omega C_0(Z_0+R)}{2Z_0+6R_D+3R}$	$\frac{-3\underline{E}[1-j\omega C_0(Z_0+R)]}{2Z_0+6R_D+3R}$	
c1	Dubla punere la pamint pe distribuitori diferiti	$\frac{\pm\sqrt{3}j\underline{E}}{Z_1+2R_D+Z_1}$	0	$\underline{I}^{d}_{dez1}=\underline{I}^{(2)}_{ks}=\frac{\pm\sqrt{3}j\underline{E}}{Z_1+2R_D+Z_1}=\underline{I}_{pp}$ $\underline{I}^{d}_{dezd_2}=\underline{I}^{(2)}_{kT}=$ $=\underline{I}^{(2)}_{dez1}=\underline{I}_{pp}=$ $\frac{\pm\sqrt{3}j\underline{E}}{Z_1+2R_D+Z_1}$	
c2	Idem,pe acelasi distribuitor	$\frac{\pm\sqrt{3}j\underline{E}}{Z_1+2R_D+Z_1}$	0	$\underline{I}^{d}_{dez3}=\underline{I}^{d}_{dez1}+\underline{I}^{d}_{dez2}=0$ $\underline{I}^{d}_{dez4}=\frac{\pm\sqrt{3}j\underline{E}}{Z_1+2R_D+Z_1}$	

tab. 8.6

defect $\underline{I}^{(2)}_{K\,S}=\underline{I}^{d(2)}_{dez1}$, respectiv $\underline{I}^{(2)}_{K\,T}=\underline{I}^{d(2)}_{dez2}$; aceşti curenţi (fiind în fapt acelaşi curent de scurtcircuit bifazat, care se închide şi prin pământ ($\underline{I}_{pp}$) au aceeaşi valoare, dar sensuri diferite. Aceşti curenţi pot deci să acţioneze elementele de măsură (U) ale dispozitivelor, dar numai de pe distribuitorii cu defect.

Dacă dubla punere la pământ se produce pe acelaşi distribuitor (cazul C_2, tab.8.6) se pot întâlni următoarele situaţii: cele două puneri la pământ se produc pe acelaşi tronson al distribuitorului; aceasta

Scanned with OKEN Scanner

reprezintă un caz tipic de scurtcircuit bifazat şi ca urmare, în nici un punct al distribuitorului cu defect sau a RED-MT, nu există un curent de dezechilibru ce ar putea fi măsurat cu TSH; cele două puneri la pământ se produc pe tronsoane diferite; în acest caz numai pe tronsoanele dintre cele două locuri cu defect (K_1'; K_2', cazul C_2 reprezentat în tab.8.6) există un curent de dezechilibru, care poate fi unul din cei de la cazul C_1, în funcţie de faza pusă la pământ mai aproape de sursă. Pe porţiunea de pe distribuitorul cu defect, aflată în amonte de prima punere la pământ curentul, măsurat cu TSH, este zero. Deci numai elementele de măsură (U) ale dispozitivelor aflate între cele două tronsoane cu defect ar putea fi acţionate de curentul din regim de dublă punere la pământ, această posibilitate nu există însă pentru elementul de măsură al dispozitivului de pe capătul distribuitorului (din ID-MT).

Rezultă, ca o posibilitate de asigurare a siguranţei în neacţionare, adoptarea unei valori de pornire a elementului de măsură (U); dacă aceasta are valoarea de pornire U_{p1}(8.2) nu sunt condiţii ca dispozitivele de pe distribuitorii fără defect să fie acţionate, indiferent de tipul de defect produs în reţea.

Dispozitivele de pe distribuitorul (distribuitorii) cu defect pot acţiona şi în cazul altor tipuri de defecte, dacă este îndeplinită condiţia (8.2).

Aşa cum este cunoscut, pentru echiparea actuală cu aparate de conectare a distribuitorilor (fig.4.3) şi funcţionarea radială a acestora, numai dispozitivele de protecţie de pe capătul acestora acţionează şi la deconectare, toate celelalte, din PT din lungul distribuitorilor (clapeţi de semnalizare, fig.4.3, sau dispozitivele A_{ij}, fig.8.5), acţionează numai la semnalizare.

Ca urmare, pentru dispozitivele A_{i0}, fig.8.5, de la capătul distribuitorilor, se pune problema desensibilizării lor la alte tipuri de defecte, fie pentru a nu acţiona la deconectare, fie pentru a acţiona ca o protecţie de rezervă a protecţiilor de bază, corespunzătoare tipului respectiv de defect.

Aşa cum s-a arătat, se recomandă ca deconectarea (lichidarea) unei simple puneri la pământ să se facă după MINIM 1-3 sec.; acest timp poate fi deci mai mare decât timpii de acţionare (temporizările) ai

Scanned with OKEN Scanner

celorlalte dispozitive de protecţie de pe un distribuitor de MT. Ca urmare, printr-o temporizare corespunzătoare dispozitivele de protecţie împotriva punerilor simple la pământ se pot desensibiliza faţă de tipurile de defecte ce le-ar putea determina acţionarea, pentru acestea, în aceste condiţii, pot constitui însă o protecţie de rezervă.

Cât priveşte dispozitivele din PT de pe distribuitorul cu defect, acţionate la alte defecte decât punerea monofazată la pământ acestea pot fi folosite la localizarea tronsonului, cu tipul respectiv de defect, procedându-se, după deconectarea distribuitorului de către protecţia de bază a defectului respectiv, ca în cazul punerii monofazate la pământ.

Se impune însă următoarea remarcă: a doua punere la pământ rezultă din transformarea primei puneri la pământ în defect evolutiv, în special în reţelele cu nivel redus de izolaţie (ca urmare a îmbătrânirii sau poluării) datorită deconectării, în prezent, după un timp relativ mare (zeci de secunde sau minute | 14|) a primei puneri la pământ. Durata de (1-3) sec. de deconectare a primei puneri la pământ se recomandă, pentru a evita apariţia celei de a doua puneri la pământ.

Dispozitivele pentru identificarea şi localizarea primei puneri la pământ, ce se montează pe capătul fiecărui distribuitor (A_{i0}, fig.8.5) permit, deconectarea automată după (1-3) sec. a punerii monofazate la pământ, astfel încât dubla punere la pământ şi în prezent destul de rară, practic să nu se mai producă, deoarece prima punere la pământ este deconectată (lichidată) înainte ca cea de a doua să se mai producă.

Pe seama celor de mai sus, cu privire la comportarea dispozitivului de identificare şi localizare a punerilor monofazate la pământ la alte tipuri de defecte, rezultă următoarele:

- pe distribuitorii fără defect, dacă elementul de măsură (U) are valoarea de pornire U_{p1}(8.2), dispozitivele nu sunt acţionate, indiferent de tipul defectului care s-a produs în reţea;
- pe distribuitorul cu defect dispozitivele nu sunt acţionate în cazul scurtcircuitelor bifazat, bifazat cu punere la pământ sau trifazat;

In cazul unei duble puneri la pământ, pe distribuitori diferiţi, dispozitivele le identifică şi localizează pe fiecare în parte iar dacă aceasta se produce pe acelaşi distribuitor se poate localiza doar zona dintre cele două puneri la pământ.

Scanned with OKEN Scanner

- ca o măsură suplimentară pentru asigurarea siguranței în neacționare la deconectare (numai pentru dispozitivele A_{i0}, fig.8.5 din ID-MT) se poate folosi o temporizare, cu o valoare superioară celor ale dispozitivelor de protecție existente, în prezent, pe distribuitor.

8.1.4.2. Rețele electrice de distribuție cu neutrul legat la pământ prin rezistență limitatoare.

Principiul metodei şi dispozitivul de aplicare a ei (fig.8.17) se bazează şi în acest caz, pe existența, la nivelul sistemului trifazat de curenți de pe un distribuitor, a unei rezultante a sumei lor vectoriale, ce poate fi măsurată cu un transformator sumator (TSH) şi care are valorile particulare I^S_{dez} =0 pe distribuitorii fără defect şi $\underline{I}^d_{dez}$ =$\underline{I}_{pp}$ pe distribuitorul cu defect.

In RED-MT cu neutrul legat la pământ prin rezistență limitatoare (R_N), asemenea curenți pot apărea, în afara punerii monofazate la pământ prin rezistență de trecere mare ($R_D \geq R_{Dlim}$) şi în următoarele situații | 2;42| :

a) - regim normal de funcționare datorită capacităților față de pământ diferite ale conductoarelor de fază; aceştia au însă, aşa cum s-a arătat, valori foarte mici;

b) - scurtcircuit monofazat, care poate fi considerat o punere monofazată la pământ prin rezistență de trecere mică ($R_D < R_{Dlim}$);

c) - scurtcircuitul bifazat cu punere la pământ;

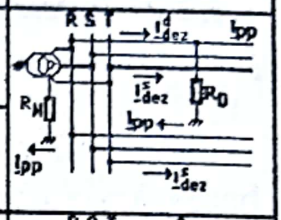
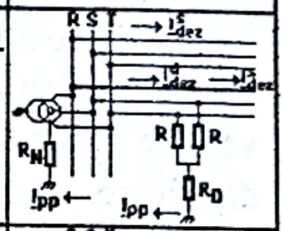
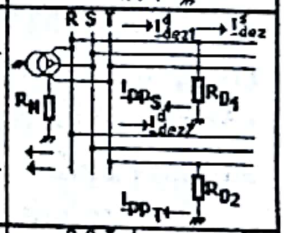
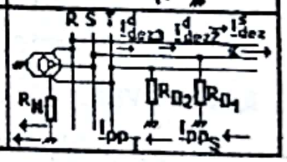
d) - dubla punere la pământ, care în cazul unei RED-MT cu neutrul legat la pământ prin rezistență de limitare R_N, care are valori mici, din punct de vedere a circulației de curenți, reprezintă un caz particular al scurtcircuitului bifazat cu punere la pământ. Dacă rezistențele de trecere la locurile cu defect sunt mai mari decât R_{Dlim} atunci dubla punere la pământ reprezintă două puneri monofazate la pământ;

e) - scurtcircuit trifazat nesimetric, cu punere la pământ, într-un sistem cu neutrul legat la pământ poate fi însoțit şi de o componentă homopolară de curent în funcție de cât de diferite sunt rezistențele de trecere de pe fiecare fază. Un caz particular al scurtcircuitului trifazat

Scanned with OKEN Scanner

nesimetric poate fi considerată fie dubla punere la pământ fie defectul monofazat.

In tab.8.7 s-au sintetizat expresiile curenților care circulă prin

CAZ	TIP DEFECT	$\underline{I}_{pp}$	$\underline{I}^{s}_{dez}$	$\underline{I}^{d}_{dez}$	CIRCULATIA DE CURENTI
a	Punere monofazata la pamint $R_D > R_{Dlim}$	$\frac{3\underline{E}}{3(R_N+R_D)}$	$\frac{-3\underline{E}\,j\omega C_0(Z_0^{TL}+3R_N)}{3(R_N+R_D)}=0$	$\frac{3\underline{E}}{3(R_N+R_D)}$ argument$<\delta_p$	
b	Scurtcircuit monofazat $R_D<R_{Dlim}$ $Z_0=Z_0^{TL}+3R_N$	$\frac{3\underline{E}}{2Z_{\Delta}+Z_0^{TL}+3(R_N+R_D)}$	$\frac{-3\underline{E}\,j\omega C_0(Z_0^{TL}+3R_N)}{2Z_{\Delta}+Z_0^{TL}+3(R_N+R_D)}=0$	$\frac{3\underline{E}[1-j\omega C_0(Z_0^{TL}+3R_N)]}{2Z_{\Delta}+Z_0^{TL}+3(R_N+R_D)}$	
c	Scurtcircuit bifazat cu punere la pamint	$\frac{-3\underline{E}}{Z_{\Delta}+2Z_0^{TL}+6(R_N+R_D+\frac{R}{2})}$	$\frac{3\underline{E}\,j\omega C_0(Z_0^{TL}+3R_N+R)}{Z_{\Delta}+2Z_0^{TL}+6(R_N+R_D+\frac{R}{2})}=0$	$\frac{-3\underline{E}[1-j\omega C_0(Z_0^{TL}+3R_N+R)]}{Z_{\Delta}+2Z_0^{TL}+6(R_N+R_D+\frac{R}{2})}$	
d_1	Dubla punere monofazata la pamint pe distributori diferiti $R_{D1}\neq R_{D2}$ $R_{D1}<R_{Dlim}$	$\underline{I}_{pp_S}=\frac{a^2 3\underline{E}}{3(R_{D1}+2R_N)}$ $\underline{I}_{pp_T}=\frac{a\,3\underline{E}}{3(R_{D2}+2R_N)}$	0 0	$\underline{I}^{d}_{dez1}=\underline{I}_{pp_S}=\frac{a^2 3\underline{E}}{3(R_{D1}+2R_N)}$ $\underline{I}^{d}_{dez2}=\underline{I}_{pp_T}=\frac{a\,3\underline{E}}{3(R_{D1}+2R_N)}$	
d_2	Dubla punere monofazata la pamint pe acelasi distributor	$\underline{I}_{pp_S}=\frac{a^2 3\underline{E}}{3(R_{D1}+2R_N)}$ $\underline{I}_{pp_T}=\frac{a\,3\underline{E}}{3(R_{D2}+2R_N)}$	0	$\underline{I}^{d}_{dez1};\underline{I}_{pp_S};\underline{I}^{d}_{dez2};\underline{I}_{pp_T}$ $\underline{I}^{d}_{dez3}=\frac{-3\underline{E}}{3(R_{D1}+2R_N)}$ S-a considerat $R_{D1}=R_{D2}$	

tab. 8.7

RED-MT pentru tipurile de defecte considerate anterior | 42| . In toate cazurile s-a adoptat aceeaşi referinţă t.e.m. (E) de secvenţă directă de pe faza R a sursei. In acest tip de reţea impedanţa $Z_0 = Z_0^{TL} + 3R_N$, deoarece $|Y_0| = \omega \sum C_0$ are valori foarte mici (10^{-6}) în raport cu ceilalţi parametri ai reţelei. In acelaşi tab.8.7 s-a reprezentat simplificat şi RED-MT cu circulaţia de curenţi pentru fiecare tip de defect.

In raport cu curenţii de circulaţie din regim de punere monofazată la pământ, care reprezintă situaţia de referinţă (cazul a, tab.8.7), se constată următoarele:

1) - în regim de scurtcircuit monofazat (cazul b, tab.8.7) curentul de dezechilibru de pe distribuitorul cu defect există (elementul de

Scanned with OKEN Scanner

măsură (U), fig.8.17, va fi acționat), are același sens cu cel de referință însă defazajele lui în raport cu tensiunile de referință sunt diferite ($\delta_D > \delta_{Dmax}$) (tab.8.4, tab.8.5) și ca urmare comparatoarele de fază φ_1, φ_2, φ_3 vor avea, toate, la ieșire nivelul logic zero (starea V). In | 26| este prezentată soluția de aplicare a metodei și în cazul scurtcircuitului monofazat.

Pe distribuitorii fără defect, curentul $\underline{I}^S_{dez}$ are semn opus celui de pe distribuitorul cu defect și ca urmare comparatoarele de fază nu vor acționa, iar pe de altă parte, valoarea lui este și în acest caz foarte mică, practic nulă (sub limita de sensibilitate a elementului de măsură (U), care este de 0,3 A, subparagraf.8.1.3.3);

2) - în regim de scurtcircuit bifazat cu punere la pământ (cazul 0, tab8.7) pe distribuitorul cu defect curentul de dezechilibru există, dar are sensul opus și ca urmare, dacă elementul de măsură este acționat, comparatoarele de fază φ_1, φ_2, φ_3 vor avea mărimile de ieșire ($Q_1 \div Q_3$) pe nivelul logic zero (starea V). Evident și pe distribuitorii fără defect curenții de dezechilibru sunt practic nuli;

3) - în regim de dublă punere la pământ pe distribuitori diferiți (cazul d_1, tab.8.7) în RED-MT cu neutrul legat la pământ prin R_N, așa cum s-a arătat, când $R_D < R_{Dlim}$ se poate considera un regim de scurtcircuit bifazat cu punere la pământ ($R < R_{Dlim}$, iar $R_D = 0$) și care s-a analizat mai sus, cazul c, iar când $R_D \geq R_{Dlim}$, se poate considera că există două puneri monofazate la pământ, ce vor fi identificate, lichidate și localizate fiecare de către dispozitivele de pe distribuitorii respectivi;

4) - în regim de dublă punere la pământ pe același distribuitor (cazul d_2, tab.8.7) se pot întâlni două situații: când cele două puneri la pământ se produc pe același tronson, toate dispozitivele dintre barele ID-MT și tronsonul cu defect sunt în starea V, iar dacă cele două puneri monofazate la pământ se produc pe tronsoane diferite, dispozitivele cuprinse între cele două locuri cu defect se vor afla în una din stările I, II sau III în funcție de faza pusă la pământ mai în aval (K'_2); dispozitivele aflate în amonte de K'_1 se vor afla în starea V.

Pe seama celor de mai sus, cu privire la comportarea dispozitivului de identificare și localizare a punerilor monofazate la pământ în

Scanned with OKEN Scanner

RED-MT cu neutrul legat la pământ, la alte tipuri de defecte rezultă următoarele:

- pentru desensibilizarea față de curenții de nesimetrie ai rețelei, când aceştia au valori mai mari de 0,3 A este necesară, pentru asigurarea siguranței în neacționare, adoptarea unei valori de pornire pentru elementul de măsură U al dispozitivelor $U_{p1} \neq 0$.

- pe distribuitorii fără defect dispozitivele nu sunt acționate în cazul scurtcircuitelor monofazate, respectiv bi sau trifazate, cu sau fără punere la pământ;

- în cazul unei duble puneri monofazate la pământ pe distribuitori diferiți dispozitivele le identifică şi localizează pe fiecare în parte;

- elementul de masură al dispozitivelor (U) este acționat în cazul defectelor cu punere la pământ (ce determină curenți de secvență homopolară); această actionare se poate folosi fie la semnalizarea existenței unui defect, fiind posibilă localizarea acestuia (aşa cum se folosesc clapeții de semnalizare), fie şi la deconectarea distribuitorului, după un timp $\Delta t > t_{max}$ (unde t_{max} este timpul propriu cel mai mare al dispozitivelor de protecție de pe distribuitor), constituind, în acest caz, o protecție de rezervă pentru dispozitivele de protecție împotriva tipurilor de defecte menționate.

In concluzie, în condițiile în care cu metodele existente şi dispozitivele actuale de aplicare a lor, este posibilă numai identificarea şi localizarea distribuitorului pe care s-a produs o punere monofazată la pământ în RED-MT (tab.2.1), metoda propusă (paragraf.8.1.1; 8.1.2), prin dispozitivele de aplicare a ei, asigură atât identificarea existenței unei puneri monofazate la pământ cât şi localizarea sigură a distribuitorului, dar şi a fazei şi a tronsonului dintre două PT, de pe distribuitor, pe care aceasta s-a produs, îndeplinind şi cerințele cu privire la siguranța în neacționare la alte tipuri de defecte.

Scanned with OKEN Scanner

8.2. METODE NOI DE IDENTIFICARE ŞI LOCALIZARE A SCURTCIRCUITELOR.

Aşa cum se va vedea, pentru identificarea şi localizarea scurtcircuitelor se poate aplica, în anumite cazuri, metoda expusă în subcap.8.1 precum şi o metodă bazată pe controlul tensiunilor.

8.2.1. Metoda bazată pe controlul defazajelor.

Această metodă se poate aplica numai în RED-MT în care scurcircuitul determină apariţia unui curent de nesimetrie ce se poate măsura cu un TSH.

8.2.1.1.Metodă de identificare şi localizare a scurtcircuitului monofazat.

In paragraf 8.1.2 s-a prezentat o metodă care permite identificarea şi localizarea unei puneri monofazate la pământ prin rezistenţă de trecere mare ($R_D \geq R_{Dlim}$) în reţele cu neutrul legat la pământ prin rezistenţă (R_N); aceasta se bazează pe controlul defazajelor dintre tensiunile de fază $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ din secundarul transformatoarelor de forţă din posturile de transformare (PT) şi curentul de nesimetrie, din reţeaua de medie tensiune, (RED-MT), măsurat cu TSH.

In regim de scurtcircuit monofazat prin $R_D < R_{Dlim}$, inclusiv pentru $R_D=0$, nici o tensiune de linie din RED-MT, nu se anulează [42] şi ca urmare tensiunile $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ determinate de cele de linie din RED-MT sunt nenule şi deci metoda se poate aplica [26].

In fig.8.29 este reprezentată o RED-MT cu neutrul legat la pământ prin R_N şi un scurtcircuit monofazat în K, pe faza R,prin $R_D < R_{Dlim}$, iar în fig.8.30 s-au reprezentat diagramele fazoriale corespunzătoare; acestea s-au construit în ipoteza $R_N=0$; $Z_d=Z_i=jX_i$; $Z_0=jX_0$. Pentru R_D variabil în domeniul $(0;\infty)$ extremităţile fazorilor $\underline{I}_{K_R}, \underline{U}_{K_R}$ descriu semicercuri, conform expresiei [42]:

Scanned with OKEN Scanner

$$\underline{U}_{K_R} = R_D \cdot \underline{I}_{K_R} = R_D \cdot \frac{3 \cdot \underline{U}_R}{2X_d + X_0 + 3(R_D + R_N)} \qquad (8.48)$$

Pe seama expresiilor analitice ale componentelor simetrice, corespunzătoare scurtcircuitului monofazat (8.7) rezultă, după unele transformări, expresiile analitice ale tensiunilor de linie, la locul cu defect;

$$\underline{U}_{K_{RS}} = \underline{U}_{K_R} - \underline{U}_{K_S} = (1 - a^2)\left[Z_i \frac{a - a^2}{1 - a^2} + Z_0 + 3(R_D + R_N)\right]\frac{1}{3}\underline{I}_{K_R}$$

$$\underline{U}_{K_{TR}} = \underline{U}_{K_T} - \underline{U}_{K_R} = (a - 1)\left[Z_i \frac{a - a^2}{a - 1} + Z_0 + 3(R_D + R_N)\right]\frac{1}{3}\underline{I}_{K_R} \qquad (8.49)$$

$$\underline{U}_{K_{ST}} = \underline{U}_{K_S} - \underline{U}_{K_T} = (a^2 - a)[2Z_i + Z_0 + 3(R_D + R_N)]\frac{1}{3}\underline{I}_{K_R}$$

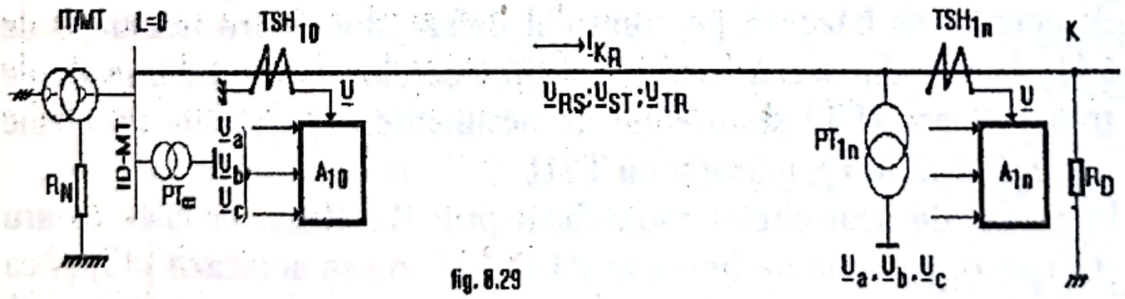


fig. 8.29

Ca urmare, expresiile analitice ale defazajelor dintre curentul $\underline{I}_{K_R}$ şi tensiunile de linie (8.49) ce le determină pe cele din PT ($\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$) au forma:

Scanned with OKEN Scanner

$$\varphi_1 = (\underline{U}_{K_{RS}}; \underline{I}_{K_R}) = \frac{\pi}{6} + arctg\left[\frac{X_0 + X_i\cos 60° + R_2\sin 60°}{R_0 + 3(R_N + R_D) + R_i\cos 60° - X_i\sin 60°}\right]$$

$$= \frac{\pi}{6} + \Delta\varphi_1$$

$$\varphi_2 = (\underline{U}_{K_{TR}}; \underline{I}_{K_R}) = \frac{5\pi}{6} + arctg\left[\frac{X_0 + X_i\cos 60° - R_i\sin 60°}{R_0 + 3(R_N + R_D) + R_i\cos 60° + X_i\sin 60°}\right]$$

$$= \frac{5\pi}{6} + \Delta\varphi_2 \qquad (8.50)$$

$$\varphi_3 = (\underline{U}_{K_{ST}}; \underline{I}_{K_R}) = -\frac{\pi}{2} + arctg\left[\frac{2X_i + X_0}{R_0 + 2R_i + 3(R_N + R_D)}\right] = \frac{\pi}{2} + \Delta\varphi_3$$

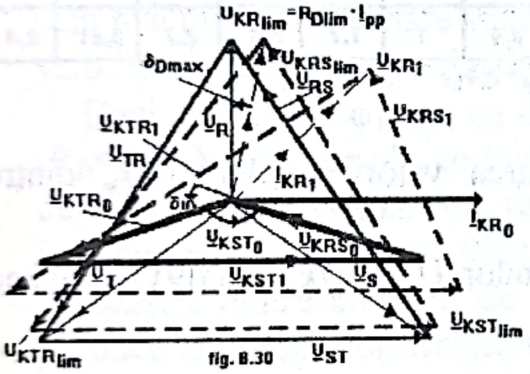


fig. 8.30

Se constată că aceste unghiuri rezultă din adăugarea la defazajele corespunzătoare regimului simetric, a unor abateri unghiulare $\Delta\varphi_1$, $\Delta\varphi_2$, $\Delta\varphi_3$ proprii regimului de scurtcircuit monofazat.

In tab.8.8 s-au calculat valorile defazajelor pentru cazul limită R_D=0; parametrii LEA şi LES, sunt cei cu care s-a lucrat în anexa I iar perntru R_N s-a considerat valoarea limită inferioară (2 Ω). Unghiurile δ_1, δ_2, δ_3 din tab.8.8 reprezintă abaterile unghiulare dintre tensiunile de la locul cu defect ($\underline{U}_{K_{RS}}, \underline{U}_{K_{ST}}, \underline{U}_{K_{TR}}$) şi cele similare de pe barele instalaţiei de distribuţie (ID-MT), care se consideră independente de valoarea lui R_D. Evident aceste unghiuri au valoarea maximă când defectul se produce la sfârşitul distribuitorului ($L=L_{max}$, fig.8.29) în funcţie şi de faza pusă la pământ. Astfel, când defectul se produce pe faza R, $\delta_3=\delta_{3max}$, iar δ_1 şi δ_2 au valorile ce urmează să se determine în continuare. Pentru aceasta este

Scanned with OKEN Scanner

	$R_D=0$											$R_D=R_{D\,lim}$	
	L=0	L=Lmax										L=Lmax	
		LES - secțiuni [mm²]					LEA - secțiuni [mm²]					LES	LEA
		50	70	95	120	150	35	50	70	95	120	150	35
φ_1^0	72	59,2	61,3	65,7	74	75	69,2	76,2	79,6	83	93	30	30
$\Delta\varphi_1$	42	29,2	31,3	35,7	44	45	39,2	46,2	49,6	53	63	0	0
δ_1	0	-9,1	-5,6	-4,4	-2,5	-2,5	-10,6	-10,6	-11,8	-10,5	-11,5	0	0
φ_2	172	161	170	177	189	190	168	175	176	182	190	150	150
$\Delta\varphi_2$	22	11	20	27	39	40	18	25	26	32	40	0	0
δ_2	0	9,1	5,6	4,4	2,5	2,5	10,6	10,6	11,8	10,5	11,5	0	0
φ_3	-40	-63	-59	-55	-52	-50	-59	-51	-44	-39	-34	-87,45	-85,6
$\Delta\varphi_3$	50	27	31	35	38	39	31	39	46	50	56	2,45	4,4
δ_{3max}	0	-0,5	-0,3	-0,1	0	0,21	0,4	1	1,7	2,4	2,7	0,21	0,4

tab. 8.8 $R_N=2\Omega$, $X_{suma}=2,4\Omega$

necesară în primul rând determinarea valorii unghiului δ_n, dintre tensiunile $\underline{U}_{K_{RS_0}}$ și $\underline{U}_{K_{TR_0}}$, fig.8.30.

Din expresiile analitice ale tensiunilor $\underline{U}_{K_{RS}}, \underline{U}_{K_{TR}}$ (8.49) eliminând curentul, se poate scrie:

$$\underline{U}_{K_{TR}} = (a-1)\left[Z_i\frac{a-a^2}{a-1}+Z_0+3(R_N+R_D)\right]\cdot\frac{1}{3}\cdot\frac{3\underline{U}_{RS}}{(1-a^2)\left[Z_i\frac{a-a^2}{1-a^2}+Z_0+3(R_N+R_D)\right]} \tag{8.51}$$

respectiv:

$$\frac{\underline{U}_{K_{TR}}}{\underline{U}_{K_{RS}}} = \frac{a-1}{1-a^2}\cdot\frac{Z_i\frac{a-a^2}{a-1}+Z_0+3(R_D+R_N)}{Z_i\frac{a-a^2}{1-a^2}+Z_0+3(R_D+R_N)} \tag{8.52}$$

de unde, ținând cont (8.50) de faptul că $(a-1)/(1-a^2)=a$, rezultă:

Scanned with OKEN Scanner

$$\delta_U = \frac{2\pi}{3} + \Delta\varphi_2 - \Delta\varphi_1, \qquad (8.53)$$

iar

$$\delta_{1\max} = -\left[\frac{\pi - \delta_{U\max}}{2} - \frac{\pi}{6}\right] = \frac{\Delta\varphi_2 - \Delta\varphi_1}{2} = (\widehat{U_{K_{RS_0}}; U_{RS}})$$

$$\delta_{2\max} = \left[\frac{\pi - \delta_{U\max}}{2} - \frac{\pi}{6}\right] = -\delta_{1\max} = \frac{\Delta\varphi_1 - \Delta\varphi_2}{2} = (\widehat{U_{K_{TR_0}}; U_{TR}}) \qquad (8.54)$$

Evident, cu cât rezistența R_N este mai mare, cu atât $\Delta\varphi_1$, $\Delta\varphi_2$, $\Delta\varphi_3$ sunt mai mici şi ca urmare valorile din tab.8.8 (unde R_N=2Ω) constituie valorile maxime ce se pot întâlni.

Deci, defazajele φ_1, φ_2, φ_3 dintre curentul de scurtcircuit monofazat (R_D<R_{Dlim}), de exemplu pe faza R şi tensiunile de linie din RED-MT, de la locul cu defect, pot lua valori când R_D (0;R_{Dlim}), conform tab.8.8, în domeniile $\varphi_1 \in (30°;93°)$; $\varphi_2 \in (150°;190)$; $\varphi_3 \in (-85{,}6°;-34°)$. Defazajele dintre curentul de scurtcircuit monofazat, când acesta se produce la sfârşitul distribuitorului şi tensiunile de linie de la începutul distribuitorului, pot lua valori, conform tab.8.8 între limitele $\varphi'_1 \in (30°;81{,}5°)$; $\varphi'_2 \in (150°;201{,}5°)$; $\varphi'_3 \in (-85{,}6°;-31{,}3°)$ datorită efectului unghiurilor δ_{1max}, δ_{2max}, δ_{3max} determinate de căderile de tensiune.

Dacă, aşa cum s-a procedat în paragraf.8.1.2, se întârzie suplimentar, în acest caz cu π/4 radiani, căderea de tensiune U' din secundarul TSH, cu care se măsoară curentul de scurtcircuit monofazat, fig.8.31, atunci defazajele φ''_1, φ''_2, φ''_3 dintre mărimile de intrare în comparatoarele de fază φ_R, φ_S, φ_T, vor lua valori, indiferent de locul de montare, în domeniul $\varphi''_1 \in (-40°;11°)$; $\varphi''_2 \in (195°;235°)$; $\varphi''_3 \in (75°;138°)$ (s-a considerat un defect pe faza R).

Ca urmare, dacă comparatoarele de fază φ_R, φ_S, φ_T, fig.8.31 vor fi astfel realizate încât mărimile lor de ieşire Q_1, Q_2, Q_3 să aibă nivelul logic zero când defazajul dintre mărimile de intrare sunt ≤±40, atunci,

Scanned with OKEN Scanner

cu dispozitivul din fig.8.31 se poate identifica şi localiza selectiv un scurtcircuit monofazat, într-o RED-MT cu neutrul legat la pământ, aşa cum s-a arătat în paragraf.8.1.2.

Eventuala desensibilizare, față de curentul de punere monofazată la pământ ($R_D > R_{Dlim}$), se asigură prin valoarea tensiunii U_{p_1} egală cu:

$$U_{p_1} = K_{sig} \cdot K_T \cdot R_S \cdot I_K (R_D = R_{D\,lim}) \qquad (8.55)$$

Semnificația celor cinci stări este: Starea I,II,III - scurtcircuit monofazat pe faza R,S sauT din RED-MT în aval de locul de montare fig.8.29; Starea IV - inexistența unei puneri la pământ în aval.

In concluzie, metoda bazată pe controlul defazajelor dintre curentul

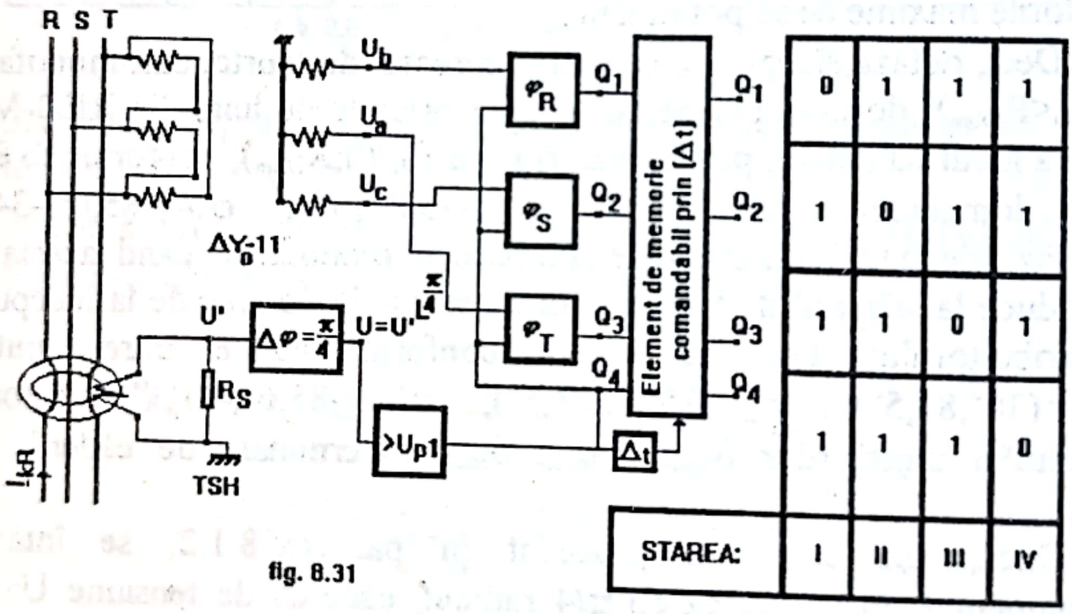


fig. 8.31

de defect monofazat şi tensiunile de fază din secundarul transformatoarelor de forță din PT se poate aplica şi în scopul identificării şi localizării scurtcircuitului monofazat, cu un dispozitiv similar celui utilizat la identificarea şi localizarea punerilor monofazate la pământ (paragraf.8.1.2).

Scanned with OKEN Scanner

8.2.1.2. Metodă de identificare şi localizare a scurtcircuitului bifazat cu punere la pământ.

Deoarece regimul stabilizat de scurtcircuit bifazat cu punere la pământ (subparagraf.5.3.2.2) este caracterizat şi de existenţa componentelor homopolare de curent (5.79), rezultă că există premize de aplicare a metodei de identificare şi localizare şi a acestui tip de defect pe baza controlului defazajelor dintre curentul de dezechilibru (homopolar) şi tensiunile de fază $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ din secundarul transformatoarelor din posturile de transformare fig.8.1 [22;25].

In regim de scurtcircuit bifazat cu punere la pământ între fazele S şi T ale unei RED-MT cu neutrul legat la pământ fig.8.32, valoarea tensiunilor, a curenţilor şi a defazajelor dintre acestea, fig.8.33, depind atât de valoarea rezistenţei arcului R_a cât şi de valoarea rezistenţei de trecere la locul cu defect R_D.

Pentru a putea evidenţia posibilitatea aplicării metodei menţionate este necesar să se determine defazajul dintre curentul de dezechilibru

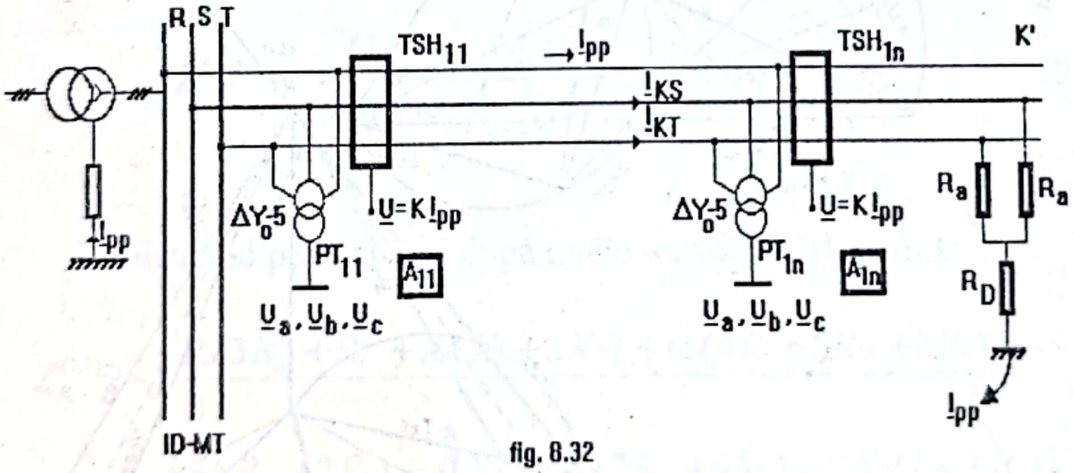


fig. 8.32

$\underline{I}_{pp}$ (5.82) şi tensiunea dintre fazele S şi T la locul de producere a defectului.

Pe seama relaţiei:

$$\underline{U}_{K\,ST} = R_a(\underline{I}_{K\,S} - \underline{I}_{K\,T}) \qquad (8.56)$$

Scanned with OKEN Scanner

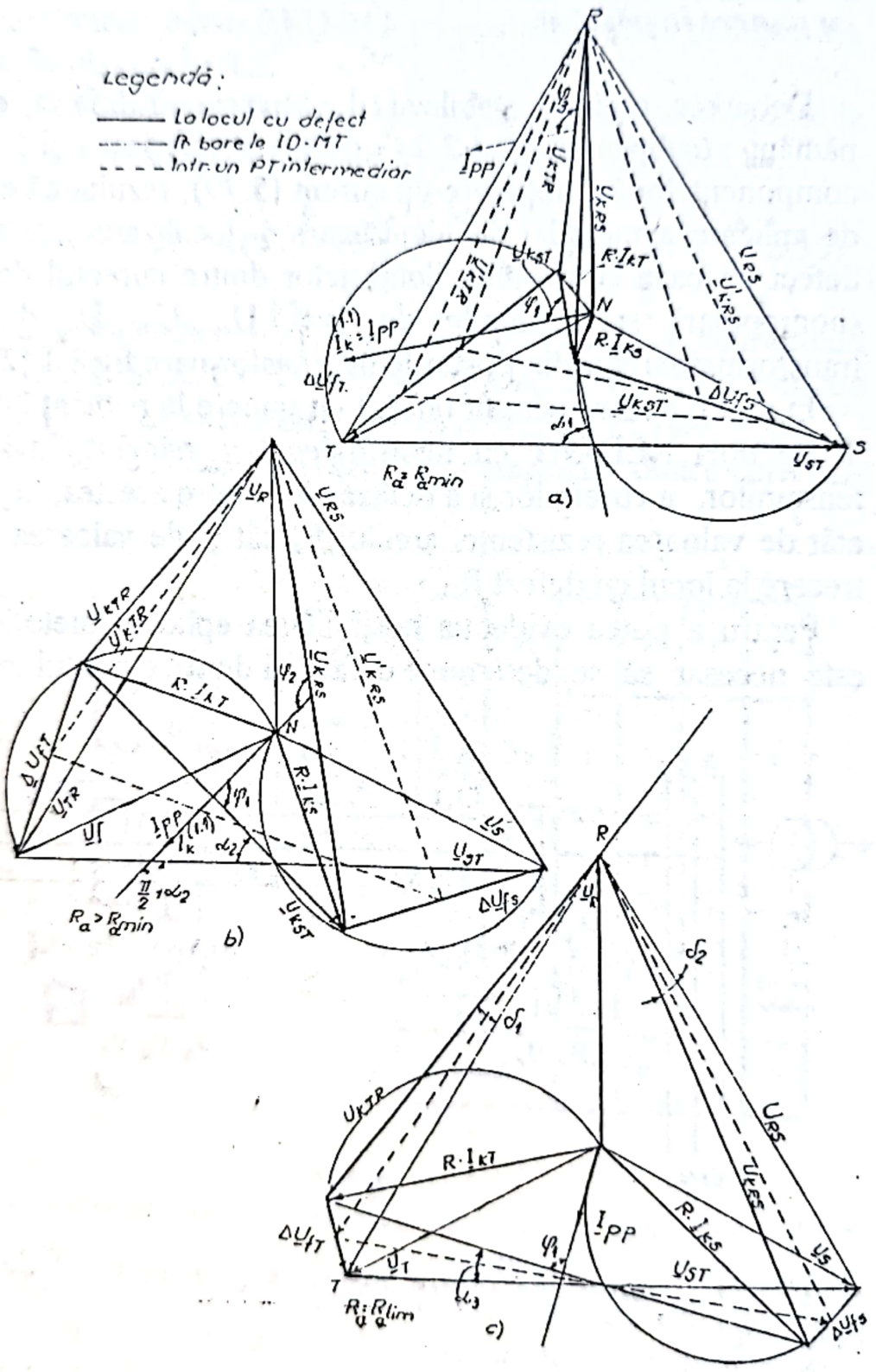


fig.8.33

Scanned with OKEN Scanner

explicitând curenții $\underline{I}_{KS}$ (5.80) și $\underline{I}_{KT}$ (5.81), pe seama (5.77) și pentru $\underline{E}_R \cong \underline{U}_R$ notând $Z_i+R_a=A$; $Z_0+R_a+3R_D=B$, rezultă:

$$\underline{U}_{K\,ST} = \left[\frac{(a^2-a)A+(a^2-a)2B}{A+B}\right]\cdot\frac{\underline{U}_R}{(Z_d+R_a)+(Z_i+R_a)//(Z_0+R_a+3R_D)} \tag{8.57}$$

sau

$$\underline{U}_{K\,ST} = -j\frac{A+2B}{A+B}\cdot R_a\cdot\underline{I}_{K\,Rd} \tag{8.58}$$

și din (5.82), în aceleași condiții:

$$\underline{I}_{pp} = -\frac{3A}{A+B}\cdot\underline{I}_{K\,Rd} \tag{8.59}$$

Ca urmare, pe seama (5.81) și (5.82) rezultă că defazajul $\varphi^{(1.1)}$ dintre tensiunea $\underline{U}_{K\,ST}$ și curentul $\underline{I}_{pp}$ reprezintă argumentul impedanței:

$$Z_K^{(1.1)e^{\varphi^{(1.1)}}} = \frac{\underline{U}_{K\,ST}}{\underline{I}_{pp}} = j\frac{A+2B}{3A}\cdot R \tag{8.60}$$

Explicitând pe A și B și după unele transformări rezultă:

$$Z_K^{(1.1)} = j\frac{R_a}{3}\frac{3R_a^2+R_i^2+X_i(X_i+2X_0)+R_a(4R_i+6R_D+2R_0)+}{R_i(6R_D+2R_0)-j\left[X_i(2R_a+2R_0+6R_D)-2X_0(R_0+R_a)\right]} \tag{8.61}$$
$$X_i^2+(R_i+R_a)^2$$

Notând:

$$Z_K^{(1.1)} = j\frac{R_a}{3}\cdot Z^{\varphi} \tag{8.62}$$

Scanned with OKEN Scanner

rezultă că argumentul φ reprezintă abaterea defazajului $\varphi^{(1.1)}$ în raport cu unghiul de π/2 radiani, abatere care, pentru o RED-MT, este o funcție de valoarea rezistențelor R_a și R_D.

Din (8.61) rezultă:

$$\varphi = \text{arctg}\frac{-X_i(2R_a+2R_0+6R_D)+2X_0(R_i+R_a)}{3R_a^2+R_i^2+X_i(X_i+2X_0)+R_a(4R_i+6R_D+2R_0)+\frac{}{R_i(6R_D+2R_0)}} \quad (8.63)$$

In tab.8.9 s-au calculat valorile abaterii unghiulare φ pentru mai multe tipuri de LEA și LES și un domeniu larg de combinații ale valorilor rezistențelor R_a și R_D. Se constată că abaterea φ este : zero când cele două rezistențe au valori egale; are valori pozitive și sub π/12 radiani când $R_a > R_D$ (se tinde către un regim de dublă punere la pământ iar când $R_D > R_a$ are valori negative și sub π/2 radiani (se tinde către un regim de scurtcircuit bifazat).

R_a [Ω]	R_D [Ω]	LES			LEA		
		50 mm²	95 mm²	185 mm²	50 mm²	95 mm²	185 mm²
0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	4,6	3,8	1	9,2	9,66	12
0	2	-9,06	-13	-30	-23	-32	-39
4	2	0,62	0,68	0,9	2,30	2,20	2,55
5	5	0	0	0	0	0	0
10	5	0,35	0,29	0,28	1,2	1,18	1,08
5	10	-0,48	-0,53	-0,36	-1,88	-1,86	-1,50
20	20	0	0	0	0	0	0
50	20	0,09	0,08	0,07	0,33	0,29	0,29
20	50	-0,17	-0,15	-0,135	-0,62	-0,58	-0,53
100	100	0	0	0	0	0	0
100	0	0,14	0,14	0,11	0,2	0,19	0,18
0	100	-11	-21	-36	-33	-53	-67
1	100	-4,46	-4,83	-4,96	-15,2	-17,5	-18,48
2	100	-2,75	-2,62	-2,60	-9,47	-10,11	-10,23
3	100	-1,98	-1,95	-1,81	-6,8	-7,09	-7,03
3	500	-1,98	-1,95	-1,81	-6,8	-7,09	-7,03
3	1000	-1,98	-1,95	-1,81	-6,8	-7,09	-7,03
3	10000	-1,98	-1,95	-1,81	-6,8	-7,09	-7,03
10	5000	-0,67	-0,62	-0,56	-2,34	-2,28	-2,19
100	5000	-0,07	-0,06	-0,057	-0,24	-0,236	-0,22
500	500	0	0	0	0	0	0

tab. 8.9

Pe seama celor de mai sus, impunând o valoare limită pentru abaterea φ, de exemplu $\varphi_{lim}=\pi/2$ radiani rezultă o valoare limită $R_a = R_{a\,min} < R_D$ care satisface această condiție. Din (8.63), explicitând rezistența R_D___ și neglijând termenii care conțin pe $1/R_D$ rezultă:

Scanned with OKEN Scanner

$$\varphi \cong arctg \frac{-X_i}{R_a + R_i} \qquad (8.64)$$

Impunând $\varphi=\varphi_{lim}=\pi/2$ radiani (8.64) rezultă:

$$R_{a_{min}} = \frac{X_i}{0{,}268} - R_i \qquad (8.65)$$

L=1Km

Secțiuni	50 mm²	70 mm²	95 mm²	120 mm²	150 mm²	180 mm²
$R_{amin}[\Omega]$ LES	0	0,02	0,11	0,15	0,19	0,21
$R_{amin}[\Omega]$ LEA	1	1,15	1,22	1,25	1,28	1,29
L=5Km						
$R_{amin}[\Omega]$ LES	0	0,1	0,55	0,73	0,93	1,05
$R_{amin}[\Omega]$ LEA	5	5,75	6,10	6,25	6,40	6,45
L=10Km						
$R_{amin}[\Omega]$ LES	0	0,12	1,1	1,5	1,9	2,1
$R_{amin}[\Omega]$ LEA	10	11,5	12,2	12,5	12,8	12,9

tab. 8.10

Deoarece X_i şi R_i depind de natura RED-MT (LES sau LEA) şi distanța (L) de la locul cu defect şi până la barele ID-MT, în tab.8.10 s-au sintetizat valorile rezistenței $R_{a_{min}}$ pentru mai multe combinații ale acestor parametri.

Ca urmare, din punct de vedere a defazajului $\varphi^{(1.1)}$ dintre tensiunea de linie dintre fazele între care s-a produs un defect bifazat cu punere la pământ şi curentul de dezechilibru I_{pp}, măsurat cu TSH, fig.8.32, defectul bifazat poate fi considerat:

- scurtcircuit bifazat când $R_a < R_{a_{min}}$ şi identificat şi localizat pe criteriul maximului curenților de fază (6.36) şi a filtrelor de curent de secvență inversă;
- defect bifazat la pământ când $R_a > R_{a_{min}}$, indiferent de valoarea rezistenței R_D şi care poate fi identificat şi localizat prin controlul

Scanned with OKEN Scanner

defazajelor dintre tensiunile sistemului trifazat şi curentul de dezechilibru (homopolar), conform metodei expuse anterior.

Tensiunile de linie $\underline{U}_{K\,ST}, \underline{U}_{K\,RS}, \underline{U}_{K\,TR}$ din RED-MT (8.57), care le determină pe cele de fază $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$, fig.8.1;8.2, din secundarul transformatoarelor din posturile de transformare, se modifică, atât în funcţie de valoarea rezistenţelor R_a şi R_D de la locul cu defect, cât şi pe măsură ce ne îndepărtăm de locul cu defect (K, fig.8.32, fig.8.33) spre barele ID-MT, datorită căderilor de tensiune de pe conductoarele de fază.

Ca urmare şi defazajele $\varphi_1 = (\widehat{\underline{U}_{K\,ST}; \underline{I}_{pp}})$; $\varphi_2 = (\widehat{\underline{U}_{K\,RS}; \underline{I}_{pp}})$; $\varphi_3 = (\widehat{\underline{U}_{K\,TR}; \underline{I}_{pp}})$, fig.8.33, depind de aceiaşi parametri.

La locul cu defect, dacă $R_a > R_{a_{min}}$ (8.65), indiferent de valoarea lui R_D, se obţin valori unice pentru defazajele φ_1, φ_2, φ_3 în funcţie şi de fazele între care s-a produs defectul bifazat. Insă, în PT din amonte de defect, fig.8.32, datorită efectului căderilor de tensiune, aceste defazaje îşi modifică valorile în limite destul de mari pe seama defazajelor dintre tensiunea de linie de la locul cu defect ($\underline{U}_{K\,ST}, \underline{U}_{K\,RS}\ \underline{U}_{K\,TR}$) şi de pe barele sursei (ID-MT) ($\underline{U}_{ST}$, $\underline{U}_{RS}$, $\underline{U}_{TR}$) fig.8.33.

Dacă se impune o valoare α pentru defazajul dintre tensiunile de linie de la locul cu defect şi cele de pe barele ID-MT, atunci va rezulta o valoare pentru rezistenţa R_a care asigură această condiţie.

In tab.8.11, impunând $\alpha = \alpha_{lim} = 15°$ s-au determinat valorile extreme ale defazajelor φ_1, φ_2, φ_3. Rezultă că acestea au valori diferite ceea ce face posibilă identificarea existenţei defectului bifazat când $R_a > R_{a_{min}}$ şi localizarea circuitului, tronsonului (fig.8.5) şi a fazelor cu defect. Abaterile δ_1 şi δ_2 s-au definit pe fig.8.33.

Locul	$\underline{U}_R$	$\underline{U}_S$	$\underline{U}_T$
	φ_1	φ_2	φ_3
K	90	220	330
barele ID-MT	90+ α_{lim}	220+ δ_1	220+ δ_2

tab. 8.11

Pentru o RED-MT, în funcţie de parametrii Z_d, Z_i, Z_0, pe seama celor de mai sus, va rezulta o valoare a rezistenţei R_a, care va satisface cele două condiţii ($\varphi < \pi/12$ radiani; $\alpha \le \alpha_{lim}$) şi anume $R_a = R_{a_{lim}} \ge R_{a_{min}}$ şi care va delimita

Scanned with OKEN Scanner

scurtcircuitul bifazat ($R_a < R_{a_{lim}}$) identificat şi localizat cu metode bazate pe criteriul maximului şi a curenţilor de secvenţă inversă, de defectul bifazat cu punere la pământ ($R_a > R_{a_{lim}}$) ce poate fi identificat şi localizat cu metoda bazată pe controlul defazajelor prezentată în acest capitol.

Notând cu β efectul cumulat al abaterilor φ (8.63) şi α, rezultă că acesta va fi domeniul de variaţie, în jurul lui π/2 radiani (8.68) al defazajului $\varphi^{(1.1)}$ (8.60) dintre tensiunea de linie dintre fazele cu defect şi curentul de dezechilibru.

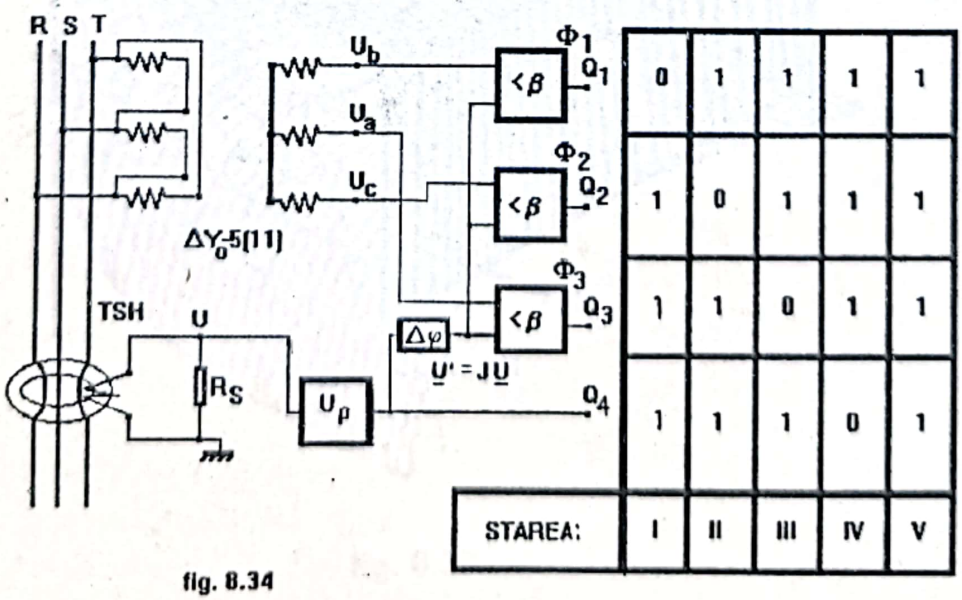
In fig.8.34 se prezintă schema de principiu a dispozitivului A_{ij}, fig.8.32, care conţine trei comparatoare ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3, un element de pornire (U_p) şi unul defazor ($\Delta\varphi$).

Comparatoarele de fază ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3, au la ieşire nivelul logic zero când defazajul dintre mărimile de intrare este mai mic decât β şi unu în caz contrar. Ca urmare, cele cinci stări ale dispozitivului au următoarea semnificaţie:

I, II, III - defect bifazat la pământ între fazele S şi T sau T şi R sau R şi S, în aval;

IV - inexistenţa acestui tip de defect în aval;

V - existenţa unei nesimetrii de altă natură.



	0	1	1	1	1
	1	0	1	1	1
	1	1	0	1	1
	1	1	1	0	1
STAREA:	I	II	III	IV	V

fig. 8.34

Scanned with OKEN Scanner

Făcând uz de avantajele calculului automat, respectiv de facilitățile mediului de programare "MATLAB", a cărui funcție "mesh" (plasă) oferă imaginea spațială a unei suprafețe, definită, în acest caz, prin mulțimea punctelor R_a, R_D, în fig.8.35 se prezintă abaterea φ pentru cazul LES 50 mm^2; L=1 Km, R_a=0; 100 Ω; R_D=0; 500 Ω. In fig.8.36 s-au reprezentat curbele φ=ct. Analiza celor două figuri oferă o imagine completă, evidențiind zonele unde analiza trebuie aprofundată; este cazul zonei cu valori mici ale lui R_a și R_D, respectiv al regimului de scurtcircuit bifazat. In fig.8.37 și 8.38 s-a aprofundat această zonă pentru R_a=0; 10 Ω și R_D=0; 15 Ω [25].

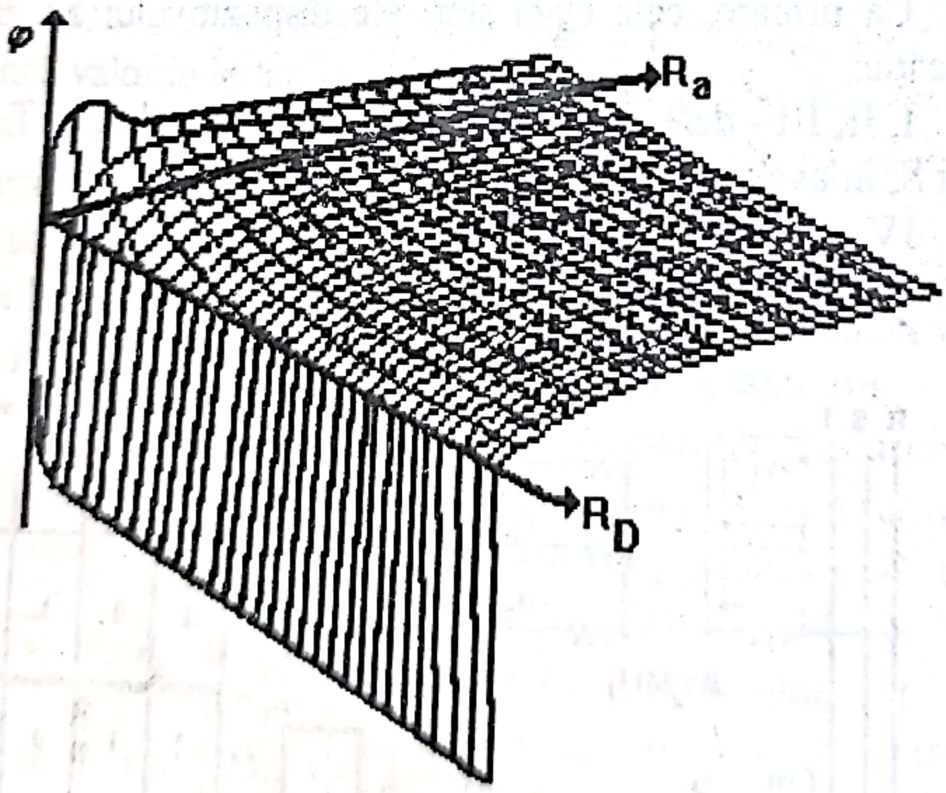


fig. 8.35

Scanned with OKEN Scanner

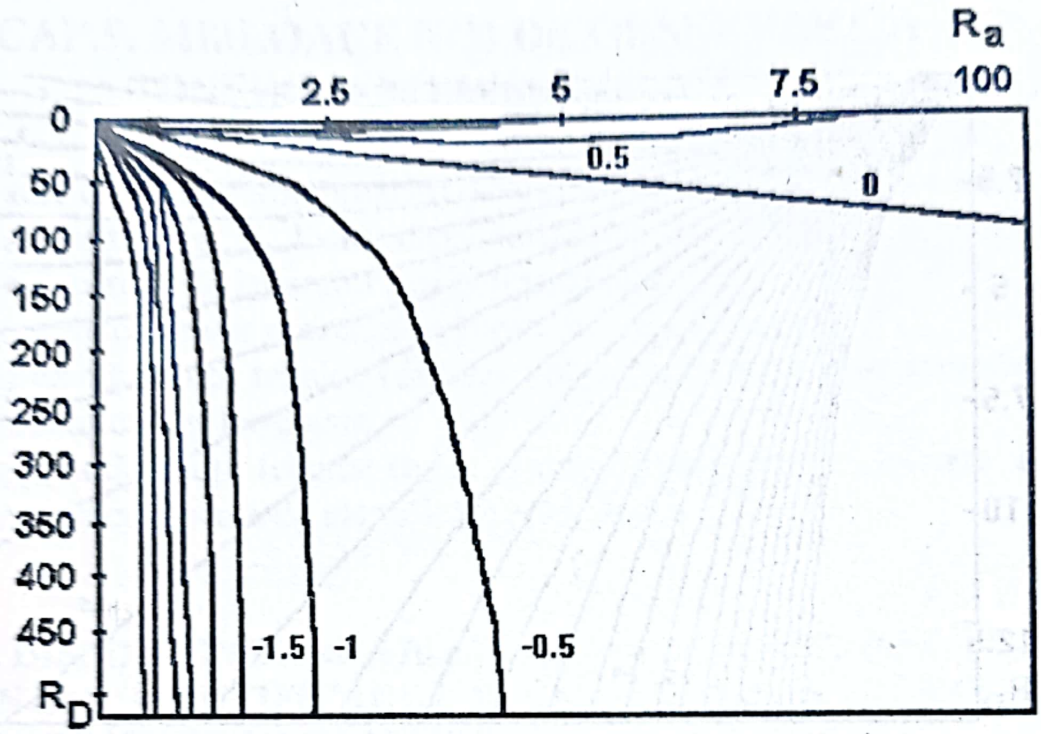


fig 8.36

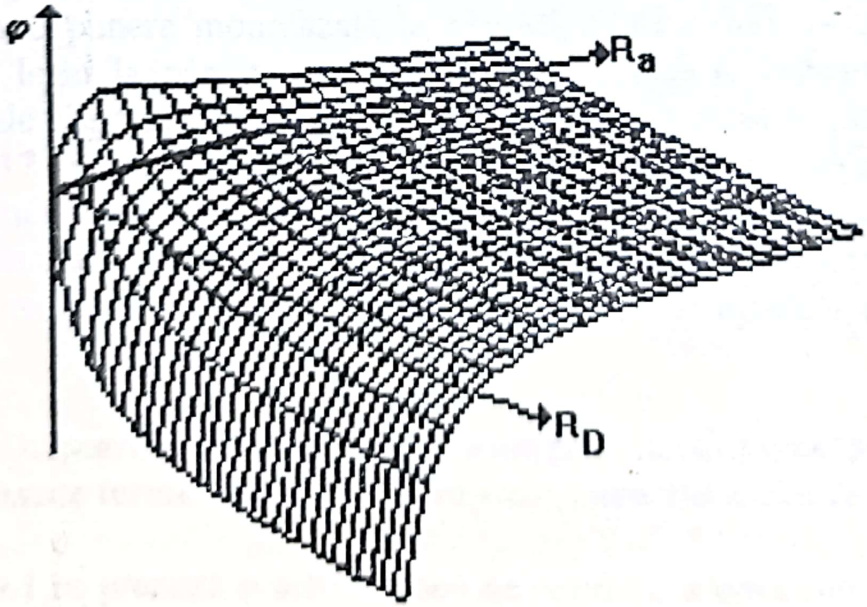


fig. 8.37

Scanned with OKEN Scanner

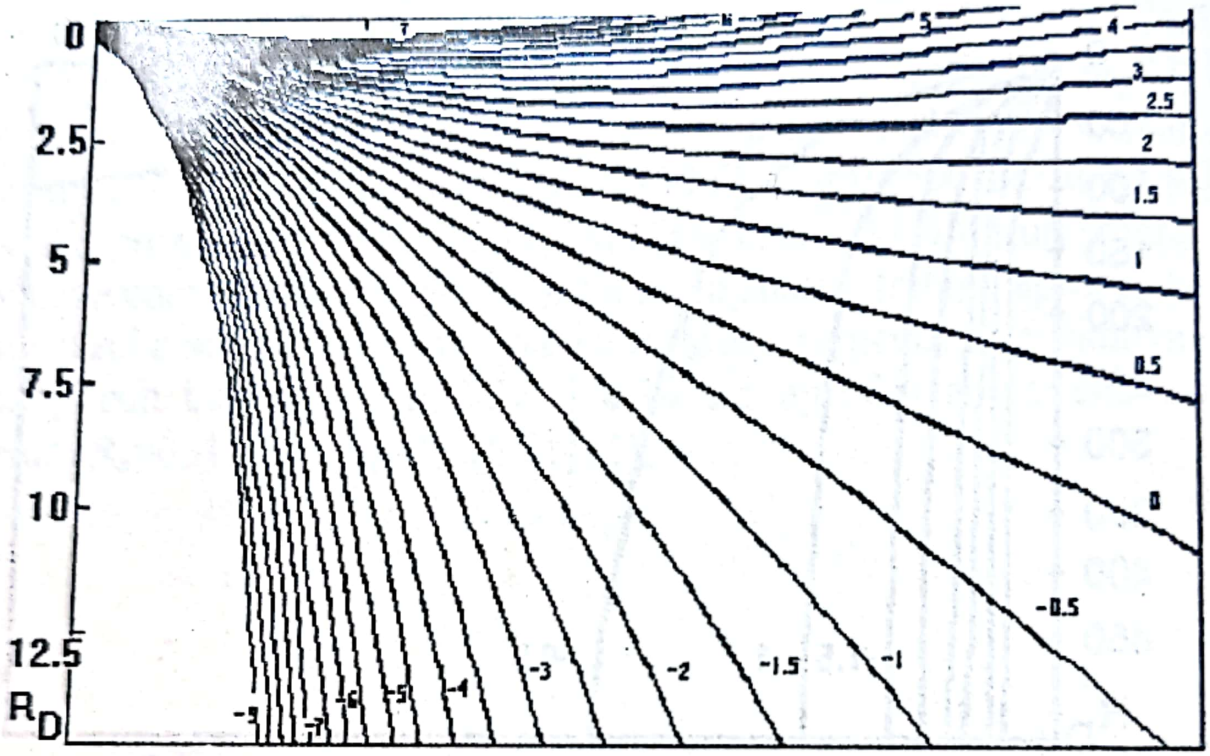


fig.8.38

Scanned with OKEN Scanner

CAP.9. MIJLOACE NOI DE OBSERVARE A DEFECTELOR IN RED-MT.

In acest capitol se vor prezenta soluţii tehnice (mijloace) noi care permit identificarea şi localizarea defectelor în RED-MT, soluţii bevetate, încercate în laborator sau în reţele reale .

Mijloacele ce se vor prezenta se împart în două categorii:

- ce reprezintă soluţii tehnice (dispozitive) de aplicare a unor metode noi de identificare şi localizare;
- ce reprezintă soluţii tehnice (relee şi dispozitive), noi de aplicare a unor metode cunoscute de identificare şi localizare.

9.1. DISPOZITIVE DE APLICARE A UNOR METODE NOI PENTRU IDENTIFICAREA ŞI LOCALIZAREA PUNERII MONOFAZATE LA PĂMÂNT.

In subcap.8.1 s-a prezentat o metodă ce permite identificarea existenţei şi localizarea distribuitorului, a fazei şi a tronsonului pe care s-a produs o punere monofazată la pământ în RED-MT cu neutrul izolat sau legat la pământ prin rezistenţă limitatoare. Schemele de principiu ale dispozitivelor cu care se aplică aceste metode fig.8.4; 8.6; 8.10 şi 8.17 se pot realiza cu soluţiile tehnice cunoscute, utilizate la realizarea mijloacelor actuale prezentate în cap.7. In acest subcapitol se vor prezenta soluţii noi de realizare a dispozitivelor cu schemele de principiu menţionate mai sus, bazate pe circuite integrate (structuri logice).

9.1.1. Dispozitiv pentru identificarea şi localizarea punerii monofazate ferme la pământ în reţele cu neutrul izolat [16].

In fig.9.1 se prezintă o soluţie nouă de realizare a unui comparator de fază utilizând două circuite comparatoare (β 339) C_{11} şi C_{14}, în regim de detectoare de trecere prin zero (DTZ fig.8.21a, cu intrarea

Scanned with OKEN Scanner

inversoare - minus - pusă la masă), cărora li se aplică mărimile sinusoidale $\underline{U}_1$, $\underline{U}_2$ (fig.8.21a) între care există un defazaj $\Delta\varphi$, fig.9.2.

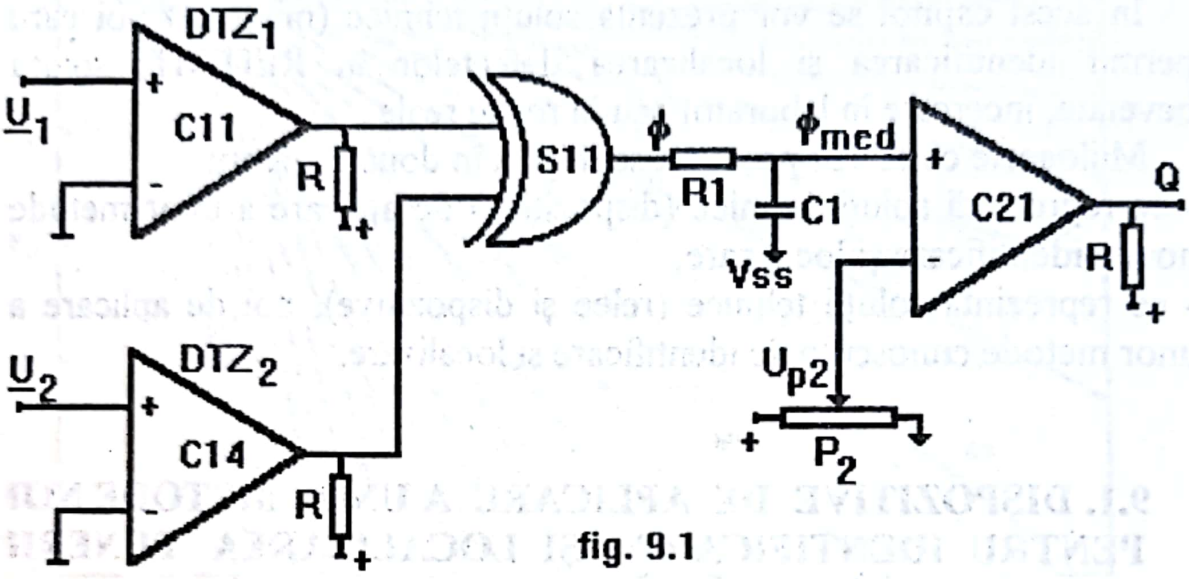


fig. 9.1

Semnalele dreptunghiulare U_1, U_2 de la ieşirea $DTZ_1(C_{11})$ şi $DTZ_2(C_{14})$ fig.9.1;9.2 se aplică unui circuit SAU-EXCLUSIV (S_{11} - MMC - 4033); la ieşirea acestuia se obţine semnalul ϕ a cărui durată a nivelului "sus" (U_0) este strict determinată de valoarea defazajului $\Delta\varphi$ dintre mărimile de intrare U_1 şi U_2. Prin integrarea semnalului ϕ, în circuitul R_1C_1, se obţine semnalul ϕ_{med} cu valoarea direct proporţională cu a defazajului $\Delta\varphi$. Semnalul ϕ_{med} se aplică circuitului comparator C_{21}; acesta lucrează ca detector de nivel (DN) cu valoarea nivelului prescrisă prin mărimea U_{p_2} ce se aplică intrării minus; la ieşirea comparatorului C_{21} se obţine semnalul Q care reprezintă mărimea logică de ieşire din comparatorul de fază, aşa cum s-a considerat în schemele de principiu din fig.8.4; 8.6; 8.10; 8.17.

Deci semnalul de ieşire Q va avea nivelul "sus" (1-logic) când semnalul de intrare ϕ_{med} va fi mai mare sau egal, cu valoarea prescrisă U_{p_1} respectiv, aşa cum s-a arătat mai sus, când defazajul $\Delta\varphi$ dintre mărimile de intrare va fi mai mare decât o anumită valoare (de ex. pentru $U_{p_1} = 1/12U_0$, $\Delta\varphi \geq 15°$).

Scanned with OKEN Scanner

In fig.9.2 s-a considerat semnalul $\underline{U}_2$ defazat în urmă cu unghiul $\Delta\varphi$ în raport cu semnalul $\underline{U}_1$. In fig.9.3 este reprezentată aceeaşi variaţie a

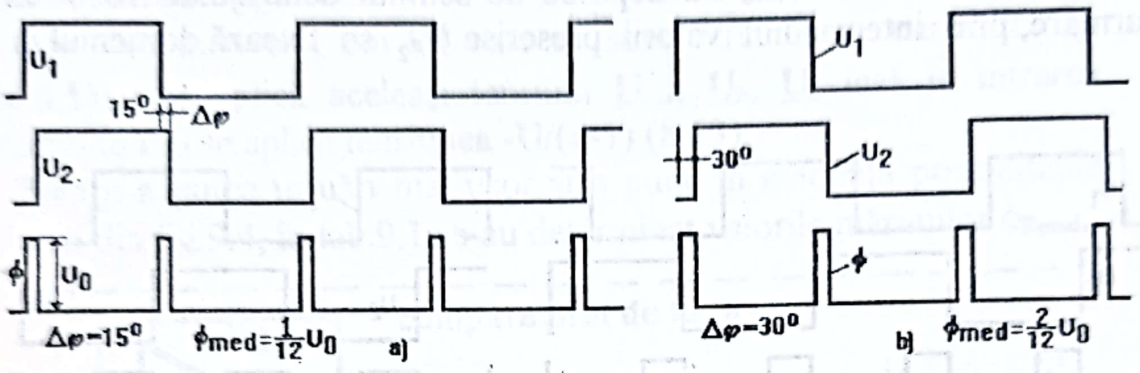


fig. 9.2 - (a,b)

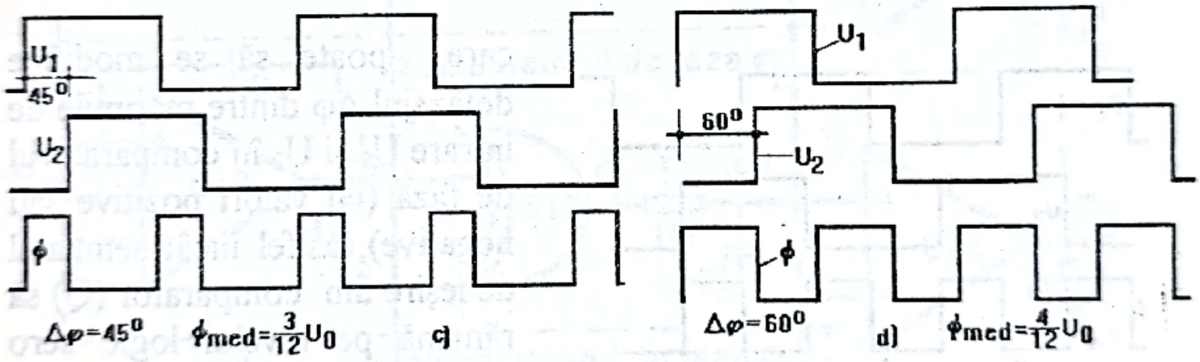


fig. 9.2 - (c,d)

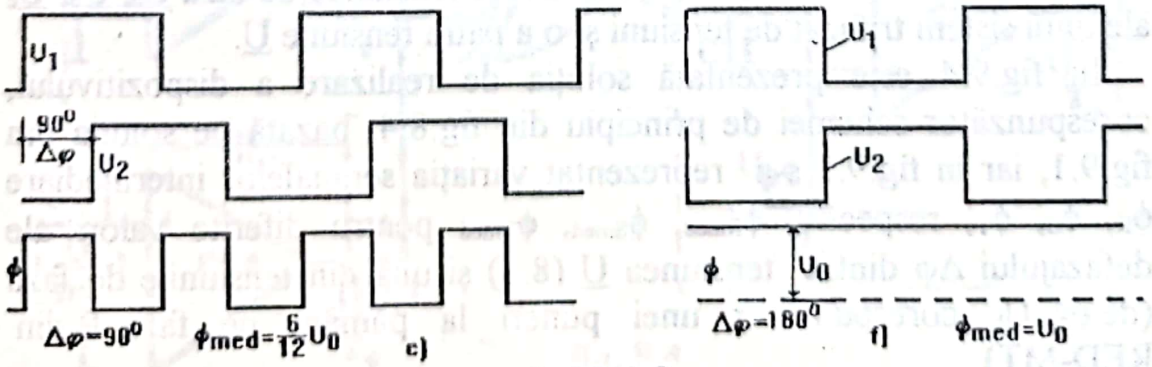


fig. 9.2 - (e,f)

Scanned with OKEN Scanner

semnalului ϕ şi a semnalului ϕ_{med}, pentru diferite valori ale lui $\Delta\varphi$, dar considerând semnalul $\underline{U}_1$ defazat în urmă faţă de $\underline{U}_2$. Se constată că valoarea semnalului ϕ_{med} nu depinde de semnul defazajului $\Delta\varphi$ şi ca urmare, prin intermediul valorii prescrise U_{p_2} se fixează domeniul în

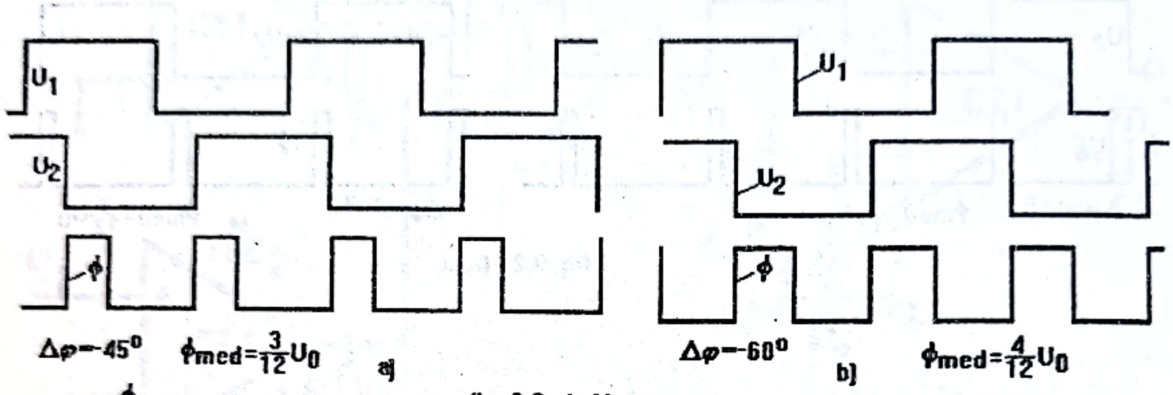


fig. 9.3 - [a,b]

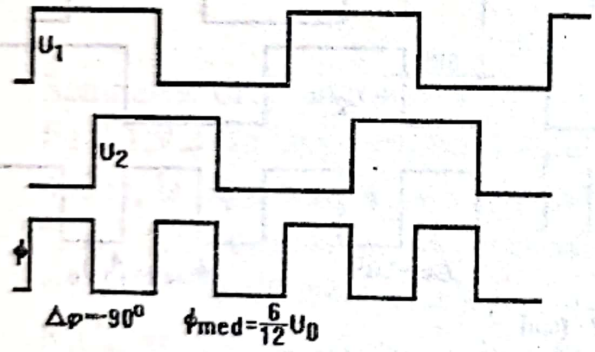


fig. 9.3 - [c]

care poate să se modifice defazajul $\Delta\varphi$ dintre mărimile de intrare U_1 şi U_2 în comparatorul de fază (cu valori pozitive sau negative), astfel încât semnalul de ieşire din comparator (Q) să rămână pe nivelul logic zero (jos).

Conform metodei, este necesar controlul şi identificarea simultană a defazajelor dintre tensiunile de fază $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ ale unui sistem trifazat de tensiuni şi o a patra tensiune $\underline{U}$.

In fig.9.4 este prezentată soluţia de realizare a dispozitivului, corespunzător schemei de principiu din fig.8.4, bazată pe soluţia din fig.9.1, iar în fig.9.5 s-a reprezentat variaţia semnalelor intermediare ϕ_R, ϕ_S, ϕ_T, respectiv, ϕ_{Rmed}, ϕ_{Smed}, ϕ_{Tmed} pentru diferite valori ale defazajului $\Delta\varphi$ dintre tensiunea $\underline{U}$ (8.1) şi una din tensiunile de fază (de ex. $\underline{U}_b$, corespunzător unei puneri la pământ pe faza R din RED-MT).

Scanned with OKEN Scanner

Evident, în raport cu celelalte tensiuni ($\underline{U}_c$, $\underline{U}_a$) defazajele se modifică corespunzător defazajelor dintre $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$ şi $\underline{U}_c$ dintr-un sistem trifazat simètric, fig.8.2.

Obs. Dispozitivelor din PT care nu sunt parcurse de curentul $\underline{I}^d_{dez}$ (fig.8.5) li se aplică aceleaşi tensiuni $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ însă la intrarea circuitului C_{14} se aplică tensiunea -U/(n-1) (8.13).

Pentru a putea urmări mai uşor şi a pune în evidenţă posibilităţile soluţiei din fig.9.4, în tab.9.1a s-au determinat valorile mărimilor ϕ_{Rmed},

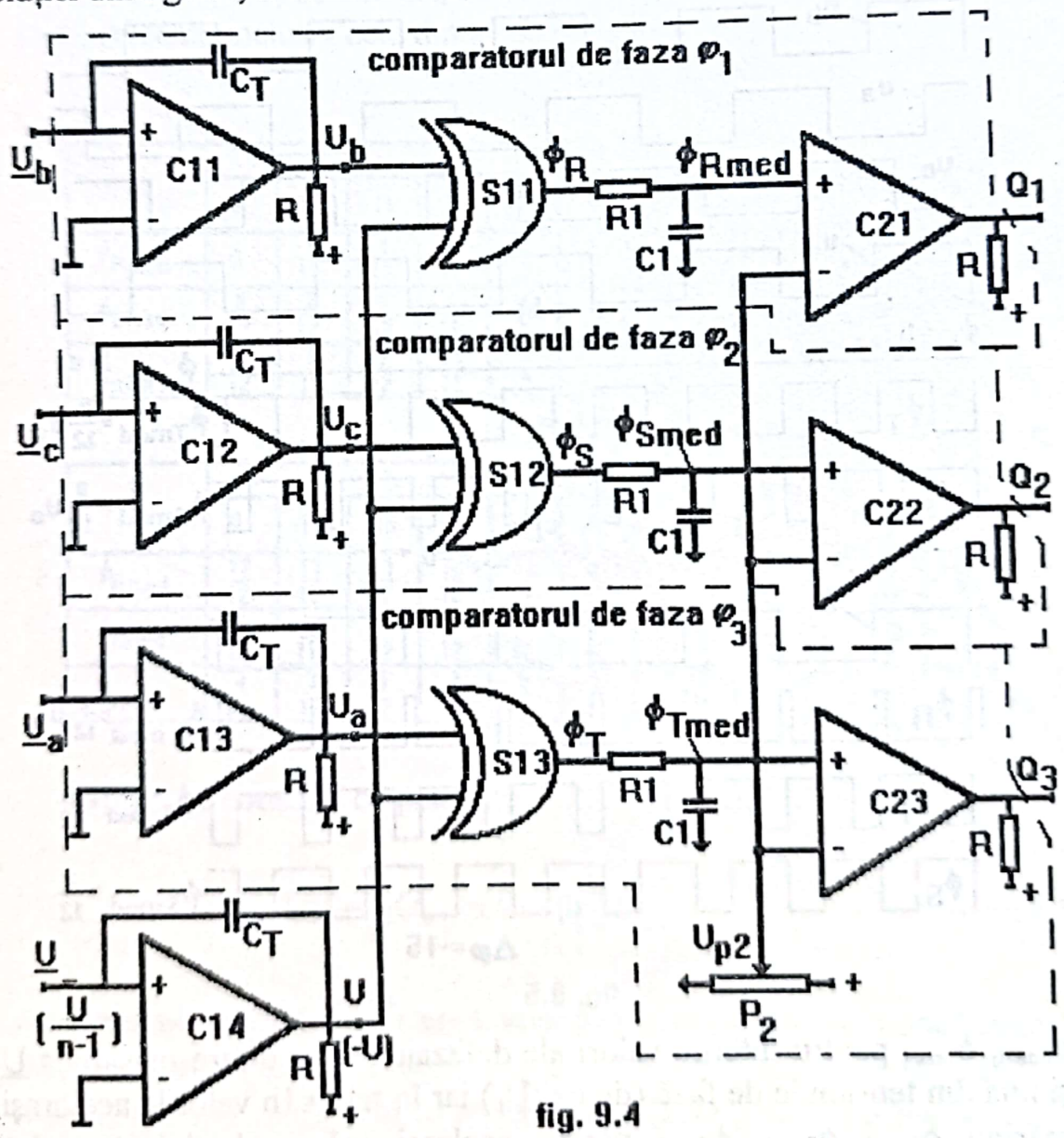


fig. 9.4

Scanned with OKEN Scanner

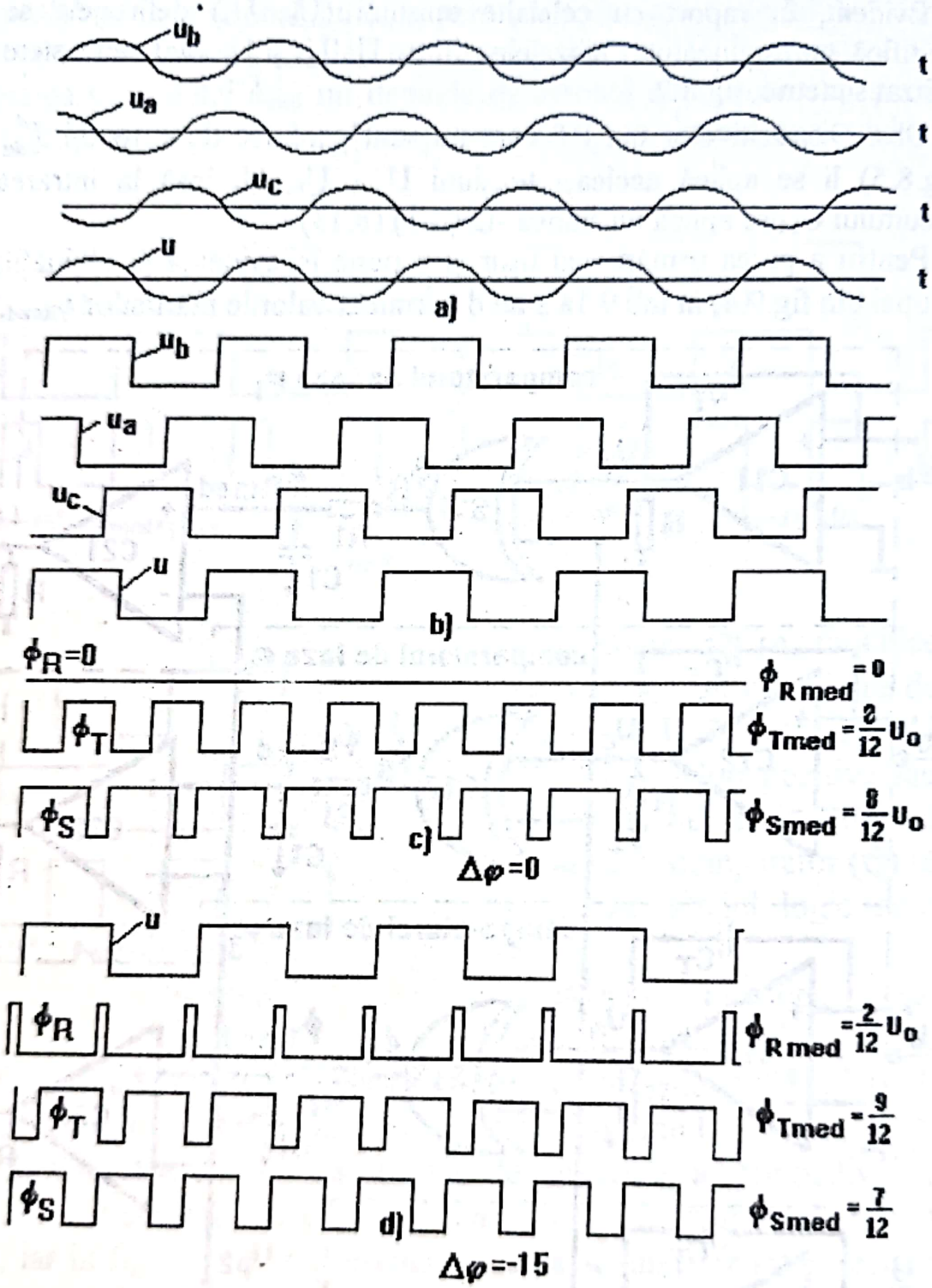


fig. 9.5

ϕ_{Smed}, ϕ_{Tmed} pentru diferite valori ale defazajului $\Delta\varphi$ dintre tensiunea $\underline{U}$ şi una din tensiunile de fază (de ex. $\underline{U}_b$) iar în tab.9.1b valorile aceloraşi mărimi ϕ_{Rmed}, ϕ_{Smed}, ϕ_{Tmed} pentru aceleaşi valori ale lui $\Delta\varphi$, dar

Scanned with OKEN Scanner

considerând tensiunea (-U) la ieşirea din detectorul de trecere prin zero C_{14}.

Se constată că pentru $\Delta\varphi=0$, ceea ce corespunde unei puneri ferme la pământ ($R_D=0$) pe faza R din RED-MT, mărimile ϕ_{Rmed}, ϕ_{Smed}, ϕ_{Tmed} au valori sensibili diferite şi ca urmare mărimile de ieşire $Q_1 \div Q_3$ din comparatoare, pentru $U_{p_2} = U_0 / 12$, au valori ce asigură localizarea selectivă a unei puneri monofazate la pământ deoarece dispozitivele A_{10} şi A_{11} (fig.8.5) se vor afla în starea I (fig.8.4), iar toate celelalte, din toată reţeaua, inclusiv cele din aval de A_{11}, se vor afla în starea IV.

	$\Delta\varphi^0$											
	0	-15	15	-30	30	-45	45	-60	60	-90	90	
ϕ_{Rmed}	0	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{2}{12}$	$\frac{2}{12}$	$\frac{3}{12}$	$\frac{3}{12}$	$\frac{4}{12}$	$\frac{4}{12}$	$\frac{6}{12}$	$\frac{6}{12}$	$\cdot U_0$
ϕ_{Smed}	$\frac{8}{12}$	$\frac{7}{12}$	$\frac{9}{12}$	$\frac{6}{12}$	$\frac{10}{12}$	$\frac{5}{12}$	$\frac{11}{12}$	$\frac{4}{12}$	$\frac{12}{12}$	$\frac{2}{12}$	$\frac{10}{12}$	$\cdot U_0$
ϕ_{Tmed}	$\frac{8}{12}$	$\frac{9}{12}$	$\frac{7}{12}$	$\frac{10}{12}$	$\frac{6}{12}$	$\frac{11}{12}$	$\frac{5}{12}$	$\frac{12}{12}$	$\frac{4}{12}$	$\frac{10}{12}$	$\frac{2}{12}$	$\cdot U_0$

tab. 9.1 - [a]

$\frac{1}{12}$	$\Delta\varphi^0$											
	0	-15	15	-30	30	-45	45	-60	60	-90	90	
ϕ_{Rmed}	$\frac{12}{12}$	$\frac{11}{12}$	$\frac{11}{12}$	$\frac{10}{12}$	$\frac{10}{12}$	$\frac{9}{12}$	$\frac{9}{12}$	$\frac{8}{12}$	$\frac{8}{12}$	$\frac{6}{12}$	$\frac{6}{12}$	$\cdot U_0$
ϕ_{Smed}	$\frac{4}{12}$	$\frac{5}{12}$	$\frac{3}{12}$	$\frac{6}{12}$	$\frac{2}{12}$	$\frac{7}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{8}{12}$	0	$\frac{10}{12}$	$\frac{2}{12}$	$\cdot U_0$
ϕ_{Tmed}	$\frac{4}{12}$	$\frac{3}{12}$	$\frac{5}{12}$	$\frac{2}{12}$	$\frac{6}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{7}{12}$	0	$\frac{8}{12}$	$\frac{2}{12}$	$\frac{10}{12}$	$\cdot U_0$

tab. 9.1 - [b]

In plus, se constată că pentru:

$$\frac{2}{12}U_0 = \frac{1}{6}U_0 > U_{p_2} > \frac{1}{12}U_0 \qquad (9.1)$$

dispozitivul asigură localizarea selectivă a unei puneri monofazate la pământ într-o RED-MT cu neutrul izolat până la valori de $\pm 30^\circ$ ale defazajului $\Delta\varphi = \varphi^d_{real}$ dintre tensiunea $\underline{U}$ (8.3) şi una din tensiunile de

Scanned with OKEN Scanner

fază $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ (în funcţie de faza pe care s-a produs punerea la pământ).

Acest domeniu al defazajului $\Delta\varphi$, propriu dispozitivului, acoperă efectul erorilor globale de unghi δ_{11} (8.40) şi δ_{12} (8.42), fig.8.25b, specifice metodei pentru cazul R_D=0 (valoarea maximă a erorilor este $(\delta_{11})_{max} = -3°$), asigurând, în raport cu acestea, un coeficient de siguranţă, , pentru acest dispozitiv, prin raportul:

$$K_{sig_0} = \frac{\Phi_{med}(30°)}{\Phi_{med}(3°)} \cong 10 \qquad (9.2)$$

Aşa cum s-a arătat în paragraf.8.1.1, schema de principiu a dispozitivului din fig.8.4 trebuie completată cu un element de măsură (U) (fig.8.6) care să asigure, pe de o parte, comanda elementului de memorie (M_c) prin elementul de temporizare Δt, iar pe de altă parte, să blocheze acţionarea dispozitivelor care nu sunt parcurse de curentul $\underline{I}^d_{dez}$.

Soluţia de realizare a dispozitivului cu schema de principiu din fig.8.6 este prezentată în fig.9.6.

Elementul de măsură (U) este realizat cu circuitul C_{24}, în regim de detector de nivel (DN) şi circuitul bistabil B_{11} realizat cu MMC-4098. Pe intrarea minus a lui C_{24} se aplică tensiunea $\underline{U}$ (8.1) (fig.8.6), iar pe cealaltă intrare valoarea preacrisă U_{p_1} (8.2). Când valoarea momentană a tensiunii $\underline{U}$ devine mai mare decât U_{p_1} detectorul de nivel C_{24} comută, semnalul de ieşire (-U) trece pe nivelul "jos" (zero logic) şi frontul negativ aplicat intrării TR^- a circuitului B_{11} face ca acesta să basculeze şi să rămână în această stare până la o operaţie de RESET. De la ieşirea Q^+ a lui B_{11} se obţine mărimea de ieşire Q_4 (fig.8.6) care pune în evidenţă existenţa tensiunii $\underline{U}$ de regim tranzitoriu, determinată de o punere monofazată la pământ prin R_D=0. Concomitent, prin ieşirea Q^- (pe nivel jos) a circuitului B_{11} se deblochează detectoarele de trecere prin zero (C_{11}÷C_{13}) şi mărimile $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ şi $\underline{U}$ intră în comparatoarele de fază şi sunt analizate, aşa cum s-a arătat. Dacă tensiunea $\underline{U}$ nu reuşeşte să deblocheze detectorul de nivel C_{24} (regim

Scanned with OKEN Scanner

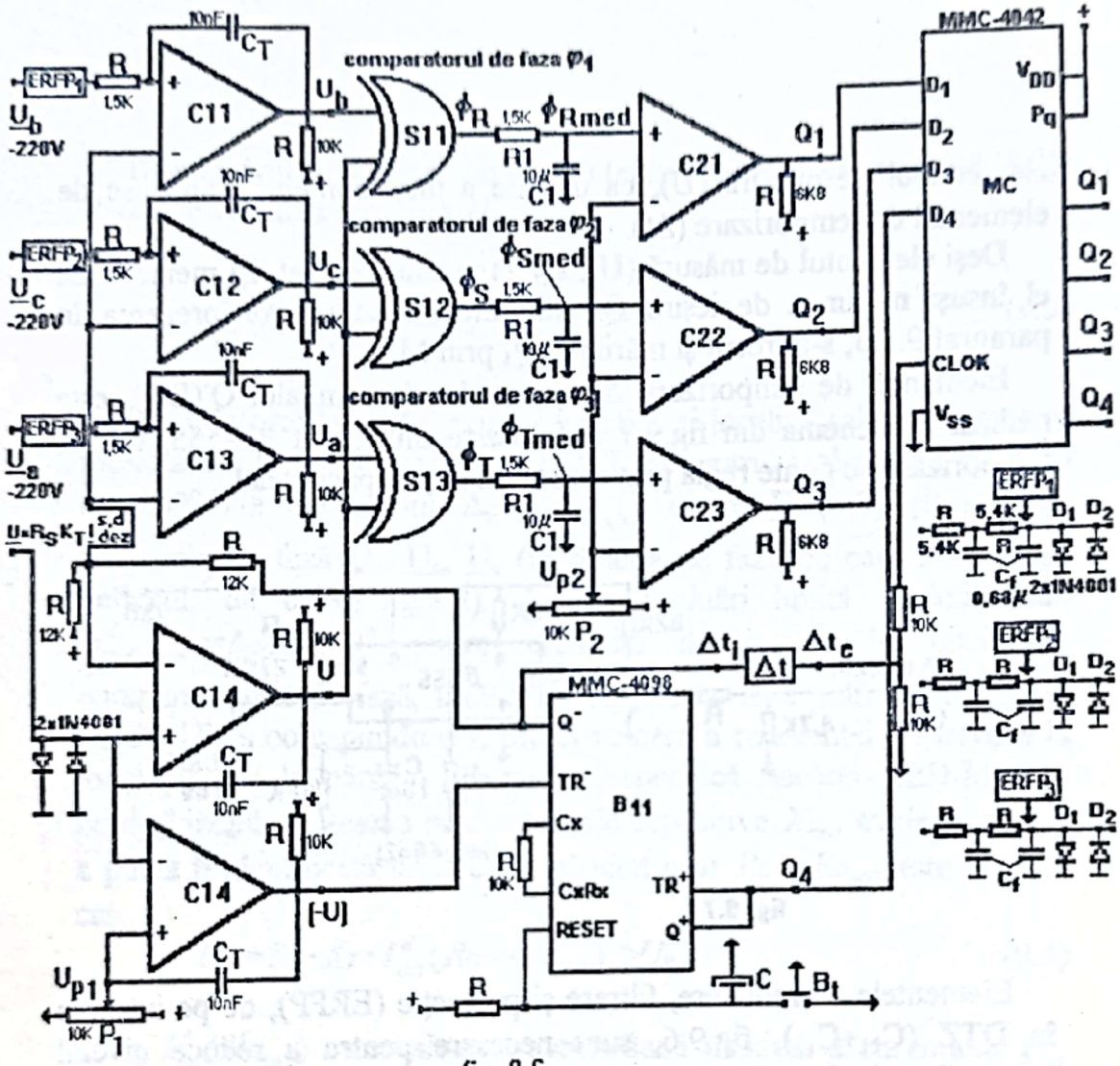


fig. 9.6

normal de funcționare în RED-MT, alt tip de defect, tab.8.6., sau dispozitivul se află pe traseul curenților $\underline{I}^{S}_{dez}$, fig.8.5) atunci toate detectoarele (C_{11}÷C_{13};C_{24}) rămân blocate şi ca urmare mărimile de ieşire Q_1÷Q_3 (fig.8.6, fig.9.6) au valoarea logică unu, iar Q_4=0; deci dispozitivul se află în starea IV - inexistența unei puneri monofazate la pământ în aval.

Elementul de memorie comandabil (M_c), realizat cu MMC-4042, îşi memorează la ieşire mărimile de pe intrări (D_1÷D_3), din momentul comandării, respectiv al aplicării unui front pozitiv pe CLOK. Acest front se aplică, după un timp t ≥$t_{tranzit}$ din momentul acționării

elementului de măsură (U), ca urmare a unei comenzi transmise de elementul de temporizare (Δt).

Deşi elementul de măsură (U), aşa cum este realizat, îşi memorează el însuşi mărimea de ieşire Q_4, din motive ce se vor prezenta în paragraf.9.1.3, s-a trecut şi mărimea Q_4 prin M_c.

Elementul de temporizare Δt, comandat de semnalul $\bar{Q}(B_{11})$, este realizat cu schema din fig.9.7 şi foloseşte un circuit βE-555; durata temporizării se poate regla prin rezistenţa R şi capacitatea C.

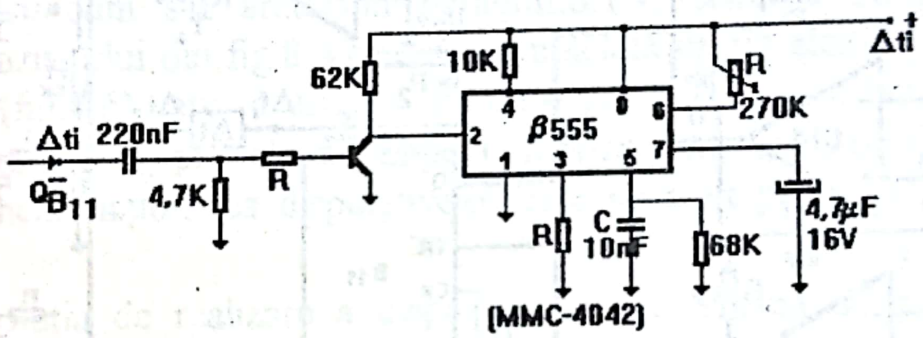


fig. 9.7

Elementele de reducere, filtrare şi protecţie (ERFP), de pe intrările în DTZ (C_{11}÷C_{13}), fig.9.6, sunt necesare pentru a reduce nivelul tensiunilor de fază $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ de la 220 V, la valori aplicabile pe intrările circuitului βA-339 şi limitarea lor în cazul unor supratensiuni accidentale. Reducerea se asigură prin divizoare rezistive, (2; 5,4 K), iar cu diodele D_1, D_2 (1N-4001) se asigură protecţia împotriva tensiunilor accidentale. Capacitatea C_f (0,68 μF) are rolul de a filtra eventuale armonici pe care le conţin mărimile de intrare.

Prin butonul B_t se asigură operaţia RESET manual.

Dispozitivul cu schema de principiu din fig.8.6, realizat practic după schema din fig.9.6, este destinat să identifice şi să localizeze o punere monofazată la pământ prin rezistenţă de trecere R_D=0. S-a constatat însă că soluţia anterioară, fig.9.4, putea să localizeze selectiv o punere la pământ până la valori ale lui $\Delta\varphi<30^\circ$ indiferent dacă există sau nu elementul de măsură (U) cu valoarea prescrisă U_{p_1} (8.2).

Scanned with OKEN Scanner

Dispozitivul cu schema din fig.9.6 (care are valoarea prescrisă (8.2)) dacă are valoarea prescrisă U_{p_2}:

$$\frac{3}{12}U_0 = \frac{1}{4}U_0 \leq U_{p_2} < \frac{4}{12}U_0 = \frac{1}{3}U_0 \qquad (9.3)$$

atunci, conform tab.9.1a, poate identifica şi localiza selectiv o punere monofazată la pământ într-o RED-MT cu neutrul izolat până la valori de ±60° ale defazajului $\Delta\varphi = \varphi^d_{real\,a,b,c}$ dintre $\underline{U}$ (8.3) şi una din tensiunile de fază $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ (în funcţie de faza pe care s-a produs defectul, de ex.R, fig.8.2). Acestei evaluări limită a defazajului $\varphi^d_{real\,a,b,c} = \Delta\varphi = \pm 60°$ dintre mărimile de intrare în unul din comparatoarele de fază, fig.9.6, în funcţie de faza pusă la pământ în RED-MT, îi corespunde o anumită valoare a rezistenţei de trecere la locul punerii la pământ $R_D = R_{D_{60°}}$, specifică fiecărei RED-MT cu neutrul izolat, pe seama reactanţei sale capacitive X_{Σ_0}; evident, pentru a putea fi identificată punerea la pământ prin $R_D = R_{D_{60°}}$ este necesar ca:

$$U = R_S \cdot K_T \cdot I^d_{dez}(R_D = R_{D_{60°}}) > U_{p_1} \qquad (9.4)$$

unde $I^d_{dez}(R_{D_{60°}})$ este valoarea momentană maximă a curentului $\underline{I}^d_{dez}$ corespunzătoare rezistenţei $R_D = R_{D_{60°}}$ ce determină, pentru defazajul, de ex.$\varphi^d_{real\,b1n}$ (8.41), (8.42) ((fig.8.23 ÷ 8.25), la o punere la pământ pe faza R din RED-MT) valoarea de 60°.

9.1.2. Dispozitiv pentru identificarea şi localizarea punerii monofazate la pământ prin rezistenţa de trecere mare în reţele cu neutrul legat la pământ prin rezistenţă limitatoare.

Pe seama mărimilor caracteristice ale regimului de punere monofazată la pământ prin rezistenţă de trecere mare $R_D > R_{D\,lim}$ în RED-MT cu neutrul legat la pământ prin rezistenţă limitatoare (R_N),

Scanned with OKEN Scanner

prezentate în paragraf.8.1.2 a rezultat schema de principiu a dispozitivului din fig.8.17 care permite identificarea existenţei unei puneri la pământ şi localizarea distribuitorului, a tronsonului dintre două PT şi a fazei pe care s-a produs aceasta.

Schema de principiu din fig.8.17 este asemănătoare celei din fig.8.6 cu deosebirea că tensiunea $\underline{U}$, obţinută la ieşirea din TSH, (pe rezistenţa de sarcină R_S) trebuie defezată cu $\pi/2$ radiani înainte de a fi introdusă în comparatoarele de fază φ_1, φ_2, φ_3.

Pe seama soluţiilor de realizare a dispozitivelor, prezentate anterior, în fig.9.8 este prezentată soluţia de realizare a dispozitivului pentru identificarea şi localizarea punerilor la pământ prin rezistenţă de trecere mare. Soluţia de realizare a comparatoarelor de fază din fig.9.4, cu $U_{P_2} = 1/3U_0$, admite, aşa cum s-a arătat, tab.9.1a, defazaje între mărimile de intrare în circuitele ($S_{11} \div S_{13}$) de până la $\pm 60°$; acest domeniu al defazajului acoperă domeniul de variaţie al erorilor δ_{13} (8.44) şi δ_{14} (8.47), dintre mărimile de intrare în circuitele ($S_{11} \div S_{13}$), asigurând, în acest caz, pentru coeficientul de siguranţă propriu acestui dispozitiv, valoarea:

$$K_{sig} = \frac{\Phi_{med}(60°)}{\Phi_{med}(\delta_{13_{max}})} = \frac{\Phi_{med}(60°)}{\Phi_{med}(8°)} \cong 7{,}5 \qquad (9.5)$$

Însă, pentru a asigura siguranţa de neacţionare, în cazul scurtcircuitului monofazat, aşa cum s-a arătat în subparagraf.8.1.4.2, tab.8.7 se impune ca la ieşirea comparatoarelor de fază să se obţină nivelul logic zero numai pentru defazaje între mărimile de intrare în acestea, cuprinse între limitele domeniului de variaţie ale erorilor δ_{13} (8.44) şi δ_{14} (8.47), fig.8.28, respectiv de maxim $(\delta_{13})_{max}=8°$. Deci, se impune ca valoarea prescrisă U_{P_2}, fig.9.8 să aibă valoarea de $2U_0/45$, corespunzătoare lui $\Phi_{med}(8°)$ (tab.9.1a).

Defazarea (întârzierea) tensiunii $\underline{U}'$, pentru a obţine tensiunea $\underline{U}$

Scanned with OKEN Scanner

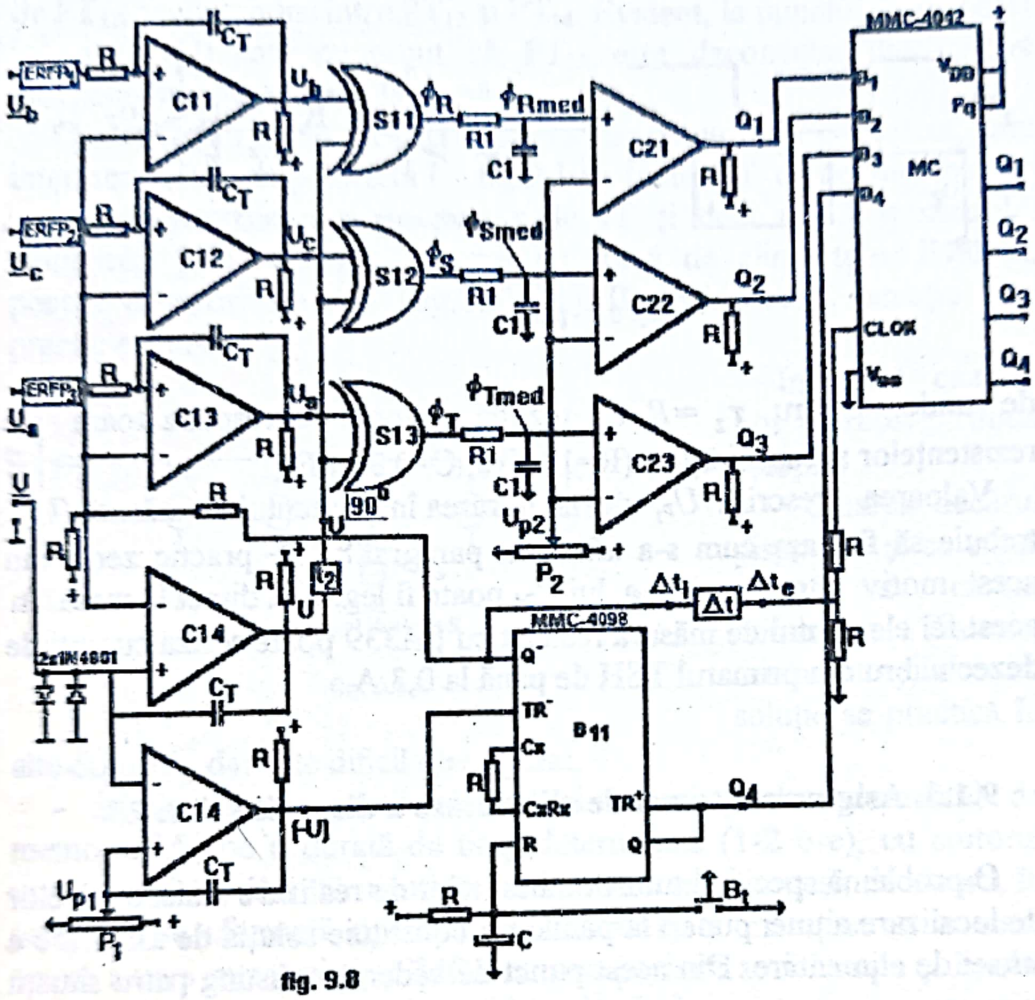


fig. 9.8

(fig.8.16) se obține cu un element de întârziere, ca cel din fig.9.9, a cărui durată a întârzierii va fi:

$$t_2 = \frac{\varphi_2}{\omega} = \frac{\pi}{2\omega} = \frac{T}{4} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ sec.} \qquad (9.6)$$

respectiv:

$$t_2 = 0{,}5(0{,}43\tau_2 + 1{,}05\tau_2) \qquad (9.6')$$

Cd. 172, c. 16, fața a II-a

Scanned with OKEN Scanner

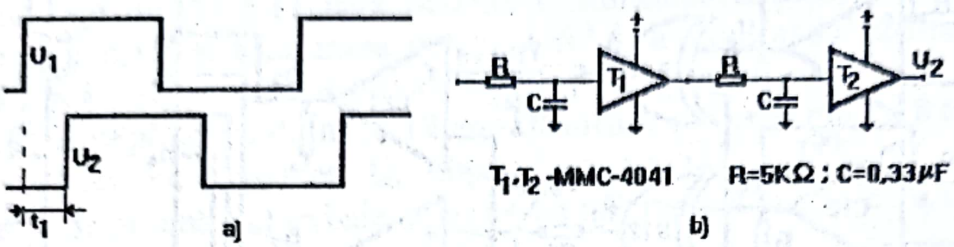


fig. 9.9 - (a,b)

de unde, pentru $\tau_2 = R \cdot C$ rezultă valorile corespunzătoare ale rezistenţelor şi capacităţilor (R=10 KΩ; C=0,33 μF).

Valoarea prescrisă U_{p_1} de la intrarea în elementul de măsură (U), trebuie să fie, aşa cum s-a arătat în paragraf.8.1.2, practic zero, din acest motiv intrarea plus a lui C_{24} poate fi legată şi direct la masă. In acest fel elementul de măsură realizat cu βA339 poate sesiza curenţi de dezechilibru din primarul TSH de până la 0,3 A.

9.1.3. Asigurarea sursei de alimentare a dispozitivelor.

O problemă specifică tuturor variantelor de realizare a dispozitivelor de localizare a unei puneri la pământ o constituie soluţia de asigurare a sursei de alimentare. Din acest punct de vedere se disting patru situaţii şi anume:

A - regim normal de funcţionare al RED-MT, când există tensiune atât pe partea de MT cât şi pe cea de JT a fiecărui PT şi când dospozitivele sunt alimentate de la sursa proprie de c.c., redresor alimentat de la tensiunea de 220 V c.a. de pe partea de JT a PT;

B - regim normal de funcţionare dar, unul din PT de pe distribuitor este deconectat (PT_{13}, fig.9.10); în acest caz dispozitivul din PT_{13} nu dispune nici de tensiunile $\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$ necesare funcţionării, conform metodei şi nici de sursă de alimentare, iar o eventuală localizare a unei puneri la pământ produsă pe tronsonul din amonte de acesta nu este posibilă. In acest caz, tronsonul din amonte de PT_{i4}, respectiv în aval

de PT_{12}, va fi cuprins între PT_{12} şi PT_{14}. Evident, la punctul de dispecer urban (PDU) este cunoscut că PT_{13} este deconectat din motive independente de punerea la pământ;

C - în regim de după deconectarea distribuitorului cu defect, prin intermediul întrerupătorului I, fig.9.10, toate PT de pe distribuitor rămân fără tensiune şi pe partea de JT şi deci nici dispozitivele, alimentate prin redresor, nu mai au sursă de alimentare. Evident, pentru dispozitivele A_{10} (fig.8.5) din ID-MT această situaţie este practic exclusă.

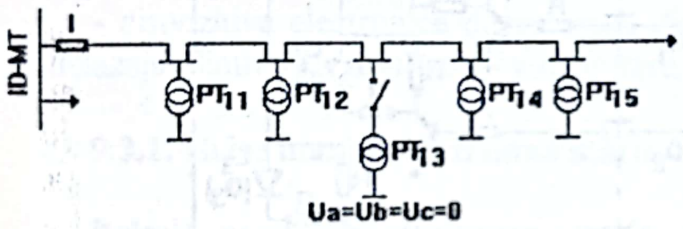


fig. 9.10

In acest caz se pot folosi două soluţii:

- dotarea fiecărui dispozitiv şi cu sursă proprie de curent continuu (baterie, acumulator); această soluţie se practică în alte domenii, dar este dificil de asigurat;

- asigurarea menţinerii alimentării numai pentru elementul de memorie M_c, pe o durată de timp determinată (1-2 ore), cu ajutorul unei capacităţi. Durata menţinerii alimentării este impusă de durata în care trebuie efectuată operaţia de localizare, iar menţinerea în stare activă a unei memorii tip CMOS cu o capacitate se foloseşte şi în alte domenii şi este posibilă pe durate de ordinul câtorva ore .

Aşa cum este cunoscut, operaţia de localizare se efectuează prin lecturarea stării dispozitivelor de pe distribuitorul cu defect. In acest scop, starea mărimilor de ieşire Q_1, Q_2, Q_3 din elementul de memorie M_c, fig.9.6, fig.9.8 trebuie vizualizată.

In fig.9.11 este prezentată soluţia de vizualizare a mărimilor $Q_1 \div Q_4$ în cazul în care dispozitivele nu au sursă proprie de curent continuu. Condensatorul C_S asigură menţinerea alimentării numai pentru elementul de memorie M_c, fiind separat de sursa de bază (redresor) printr-o diodă (D). La aplicarea unei surse portative, ce trebuie să existe, în acest caz, în dotarea echipei de intervenţie şi prin apăsarea

Scanned with OKEN Scanner

butonului B_t, prin intermediul diodelor luminescente ($L_1 \div L_4$) se vizualizează nivelul logic al mărimilor $Q_1 \div Q_4$;

D - dacă în RED-MT există implementată o structură de calcul atunci, sursa terminalului din PT [28] care este independentă de.

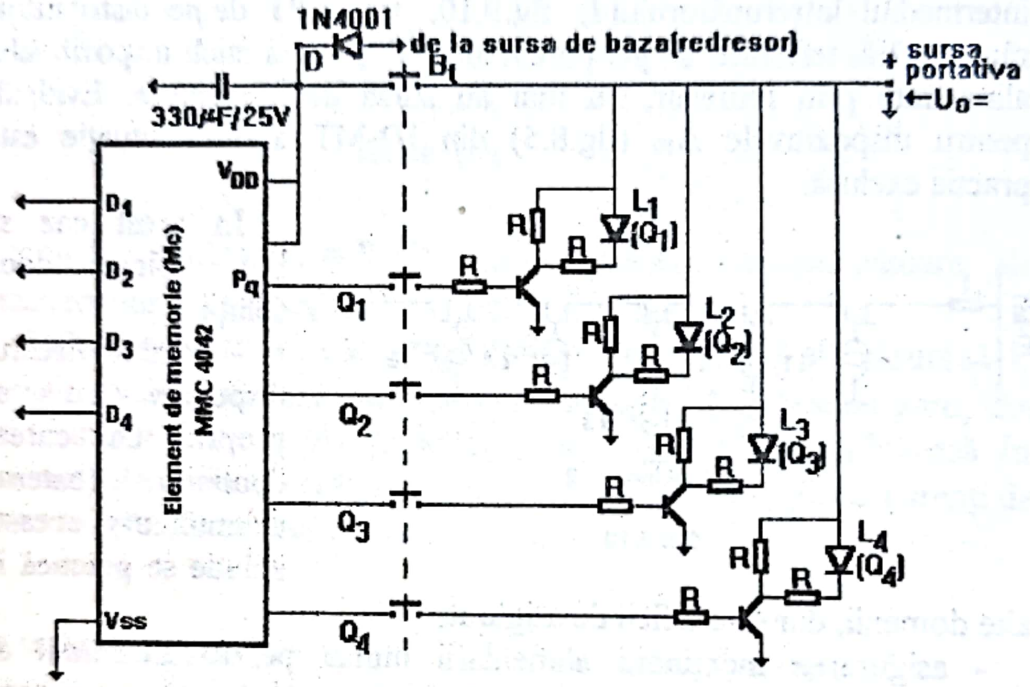


fig.9.11

tensiunea de serviciu din PT, va asigura şi alimentarea dispozitivului de localizare care face parte din terminal.

9.2. RELEE ŞI DISPOZITIVE NOI PENTRU APLICAREA UNOR METODE CUNOSCUTE PENTRU IDENTIFICAREA PUNERII MONOFAZATE LA PĂMÂNT.

In [43], pe seama unor contribuţii cu privire la caracteristicile regimului stabilizat de defect monofazat [27], dintre care unele s-au prezentat şi în cap.6, sunt prezentate soluţii tehnice noi de realizare a unor relee şi dispozitive electronice pentru identificarea şi localizarea defectului monofazat, îndeosebi în reţele de medie tensiune industriale.

Scanned with OKEN Scanner

Aceste soluţii noi se caracterizează prin aceea că au două mărimi de intrare respectiv o tensiune direct proporţională cu tensiunea de secvenţă homopolară obţinută de la un filtru de tensiune (FTSH) de secvenţă homopolară şi o tensiune direct proporţională cu valoarea curentului de dezechilibru, obţinută la ieşirea unui filtru de curent de secvenţă homopolară (FCSH-TSH).

Mijloacele de protecţie realizate cu aceste soluţii noi se pot grupa în două categorii:

- relee electronice de protecţie cu două mărimi de intrare care acţionează pe criteriul maximului ambelor mărimi;
- dispozitive electronice de protecţie direcţionale care controlează defazajul dintre cele două mărimi de intrare.

9.2.1. Relee maximale cu două mărimi de intrare.

Releele maximale homopolare actuale (subcap.7.2) controlează un singur parametru, curentul de dezechilibru, acţionând în cazul în care sunt parcurse de $\underline{I}^{d}_{dez}$, care este mai mare decât $\underline{I}^{S}_{dez}$ (6.7; 6.8; 6.9). Releele maximale homopolare REH-1 şi REH-2 [43], ce se vor prezenta în continuare, controlează şi valoarea unei mărimi direct proporţionale cu tensiunea de deplasare a neutrului, în regim de defect monofazat.

9.2.1.1. Releu electronic homopolar REH-1.

Acest releu este conceput să lucreze în RED-MT cu neutrul izolat, sau tratat cu bobină de stingere acordată la rezonanţă. In fig.9.12 se prezintă schema bloc care conţine: blocurile de adaptare pe intrarea de curent şi tensiunea homopolară; blocul de detecţie semnale de curent homopolar; blocul de amplificare , temporizare şi comandă oscilator; blocul de validare memorie şi semnalizare şi blocul de alimentare.

Funcţionarea releului se bazează pe existenţa armonicelor impare de ordin superior conţinute de curenţii de dezechilibru $\underline{I}^{S,d}_{dez}$. Pentru selectarea armonicelor se foloseşte puntea Wien-Robinson acordată pe

Scanned with OKEN Scanner

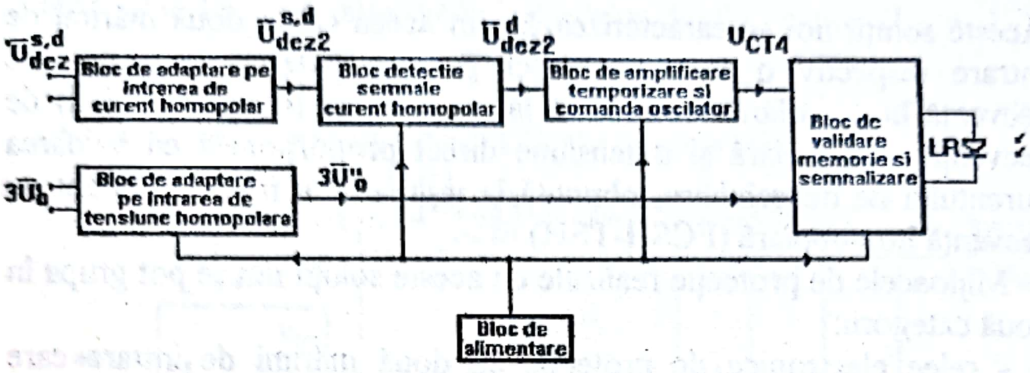


fig. 9.12

fundamentală; caracteristica de frecvenţă a acestei punţi este prezentată în fig.9.13, din care rezultă atenuarea sensibilă a fundamentalei în raport cu armonicele impare superioare.

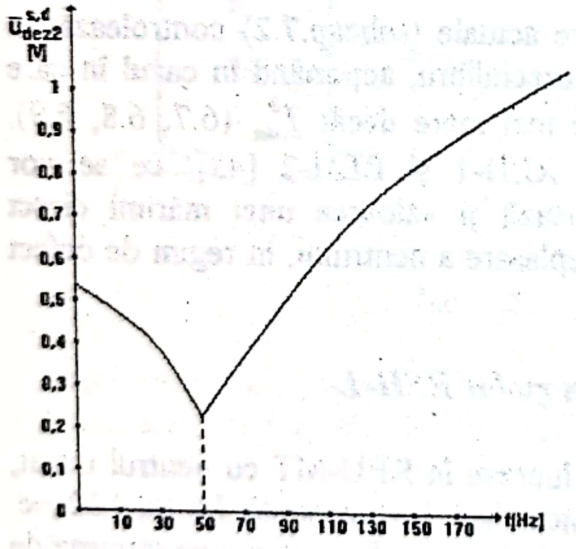


fig. 9.13

Pe seama soluţiei tehnice de realizare şi a verificărilor experimentale efectuate,REH-1 prezintă următoarele avantaje:asigură identificarea şi localizarea circuitului cu un defect monofazat în RED-MT cu neutrul izolat şi compensat la rezonanţă; asigură o selectivitate ridicată prin controlul a două mărimi de intrare; are dimensiuni mici (70 x 63 x 103 mm) fiind uşor de montat în compartimentul de relee al celulelor de MT.

Printre caracteristici se pot menţiona:

- sensibilitatea pe partea de curent $I_{pp} \geq 1$ A ; pe partea de tensiune $U_0 \geq 1000$ V.
- durata acţionării t ≥ 645 ms.
- greutatea cca 145 g.

Scanned with OKEN Scanner

- posibilitatea inerfaţării cu un terminal alfa-numeric .
- siguranţă în acţionare şi fiabilitate, fiind executat cu componente electronice de înaltă performanţă, care elimină piesele în mişcare şi tensiuni mecanice.

9.2.1.2. Releu electronic homopolar REH-2.

Acest releu este conceput să lucreze în RED-MT cu neutrul izolat, compensat cu bobină de stingere (funcţionând în regim supra sau subcompensat) sau legat la pământ prin rezistenţă limitatoare.

In fig.9.14 se prezintă schema bloc a acestui releu, care controlează aceleaşi mărimi ca şi REH-1 şi care poate identifica şi localiza un circuit pe care s-au produs atât defecte monofazate de scurtă durată (care se menţin peste durata regimului tranzitoriu) $t > 36$ ms, cât şi pe cele cu caracter permanent. Acest releu acţionează în condiţiile în care există cele două mărimi de intrare ($\underline{I}_{dez}$ şi $\underline{U}_0$) şi dacă acestea depăşesc o valoare de prag. Funcţionarea selectivă este asigurată prin valorile de prag menţionate dintre care cea de curent îndeplineşte condiţia (6.7).

Printre caracteristile REH-2 se numără:

- sensibilitatea pe partea de curent $I_{pp} \geq 1$ A, pe partea de tensiune $U_0 \geq 1000$ V;
- durata acţionării $t \geq 12$ ms.

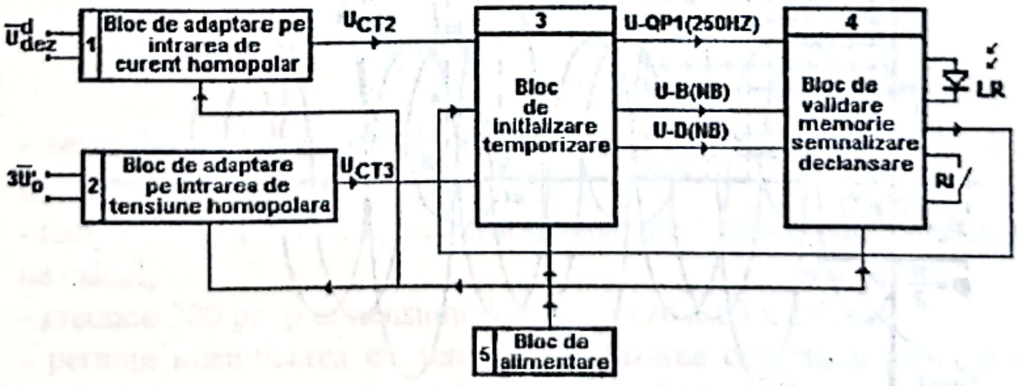


fig. 9.14

- gabarit şi greutate mică.

Scanned with OKEN Scanner

- siguranţă în acţionare şi fiabilitatea componentelor, datorită performanţelor circuitelor electronice menţionate şi la REH-1.

9.2.2. Relee şi dispozitive electronice direcţionale homopolare.

Aceste soluţii tehnice se bazează pe caracteristicile regimului stabilizat de defect monofazat, aprofundate în [43] şi pe un nou mod de implementare a criteriului direcţional, care constă în testarea la momente bine precizate a defazajului dintre mărimile $3\underline{U}_0$ şi $\underline{U}_{dez}^{S.d} = K\underline{I}_{dez}^{S,d}$ controlate de dispozitive. Acest mod de control al defazajelor permite identificarea şi localizarea unui anumit circuit cu un defect monofazat, indiferent de modul de tratare a neutrului.

9.2.2.1. Releu electronic homopolar direcţional REDH-1.

In fig 9.15 se prezintă mărimile ce se aplică releului $(3\underline{U}_0; \underline{U}_{dez}^{d,S})$ pentru care în cap.6 şi în [43] s-au stabilit semnul şi limitele defazajelor

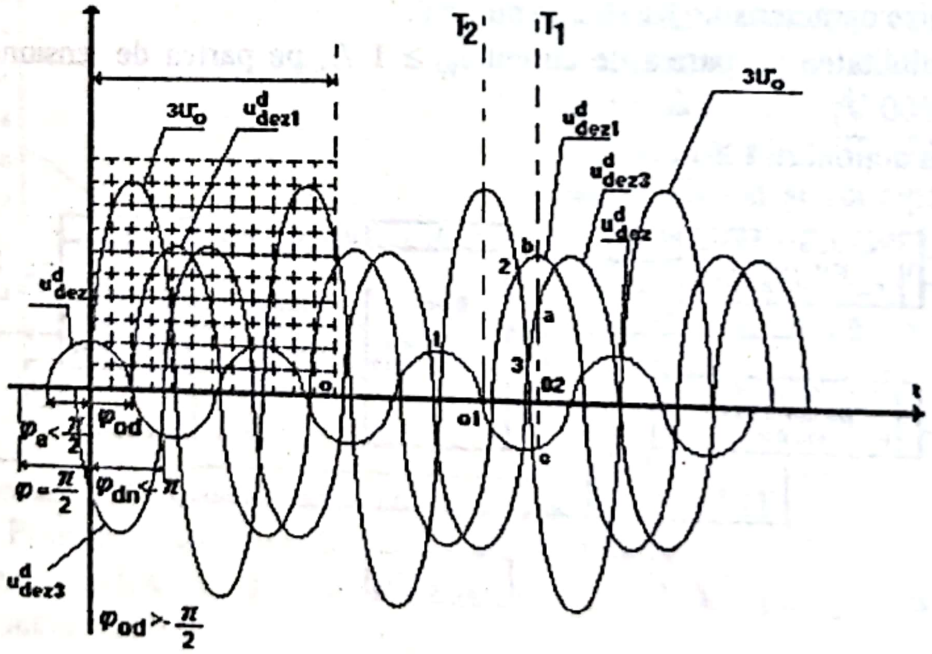


fig. 9.15

dintre ele, precum şi momentul în care trebuie să se testeze valoarea defazajelor astfel încât să se poată identifica circuitul cu defect. Efectuarea testului la trecerea prin zero a mărimii $3\underline{U}_0$ spre semiperioada pozitivă, în RED-MT cu neutrul izolat ($\underline{U}^d_{dez1}$) sau legat la pământ prin rezistenţă limitatoare ($R_N \geq 10\ \Omega$) şi aport capacitiv mare ($\underline{U}^d_{dez3}$), corespunde unor valori pozitive pentru mărimile de pe circuitele cu defect ($O_2 a \equiv U^d_{dez3}; O_2 b \equiv U^d_{dez1}$) respectiv o valoare negativă pentru ($U^S_{dez} \equiv O_2 C$) pe circuitele sănătoase.Releul REDH-1 aplică acest procedeu cunoscut (subcap.7.2) cu o soluţie tehnică nouă, respectiv utilizând componente electronice discrete şi circuite integrate, care permite şi autocontrolul automat al stării sale de funcţionare [43].

In fig.9.16 se prezintă schema bloc a REDH-1 care are următoarele caracteristici:

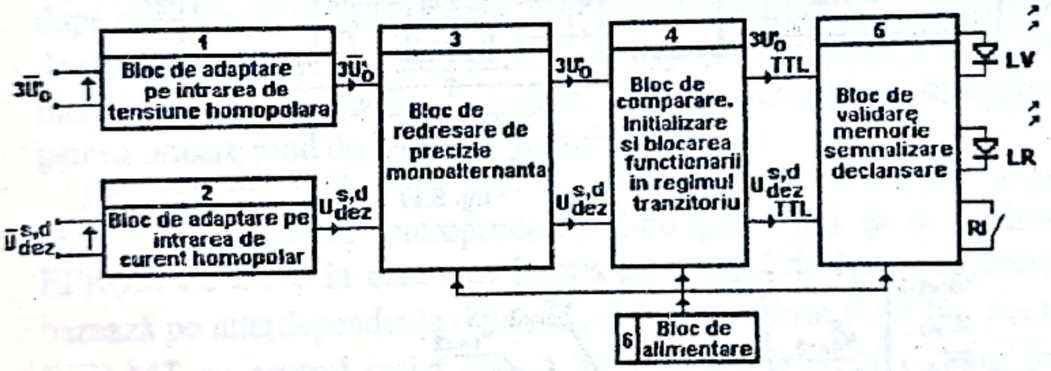


fig. 9.16

- sensibilitatea pe partea de curent $I_{dez} \geq 0{,}5$ A, respectiv tensiune $U_0 \geq 420$ V.
- temporizarea $t < 40$ ms; are posibilitatea interfaţării cu un microsistem de calcul;
- greutate 200 gr. şi dimensiuni de gabarit (70 x 63 x 103) mm;
- permite identificarea existenţei şi localizarea circuitului pe care s-a produs o punere monofazată la pământ în RED-MT cu neutrul izolat sau legat la pământ prin rezistenţă limitatoare ($R_N > 10\ \Omega$.

Scanned with OKEN Scanner

9.2.2.2. *Dispozitiv electronic homopolar universal DEHU-2.*

Acest dispozitiv controlează defazajul dintre mărimile sale de intrare ($\underline{U}_0$ şi $\underline{U}_{dez}^{S;d}$) fig.9.17, ca şi REDH-1, respectiv prin estimarea valorii şi a semnului unei mărimi ($\underline{U}_{dez}^{S,d}$) la un moment dat, respectiv, în acest caz, când semnalul sinusoidal $3\underline{U}_0$ are valoarea sa maximă negativă ($\omega t = 270^\circ$) fig.9.18.

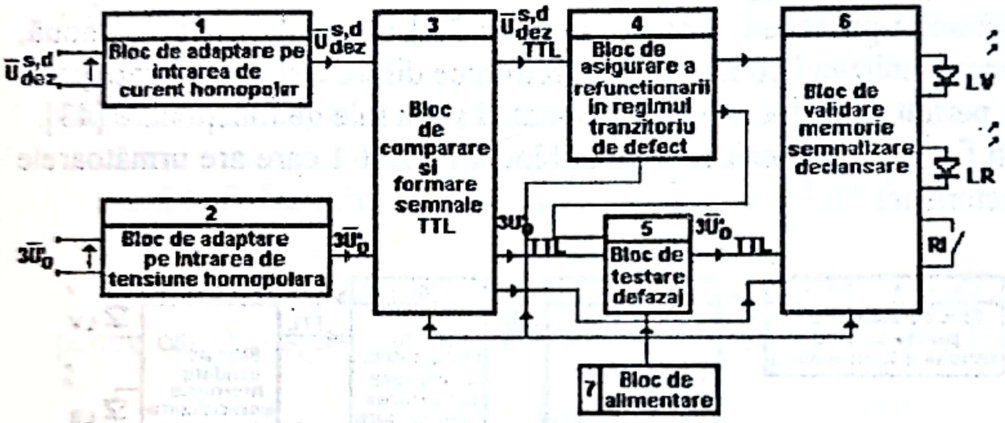


fig. 9.17

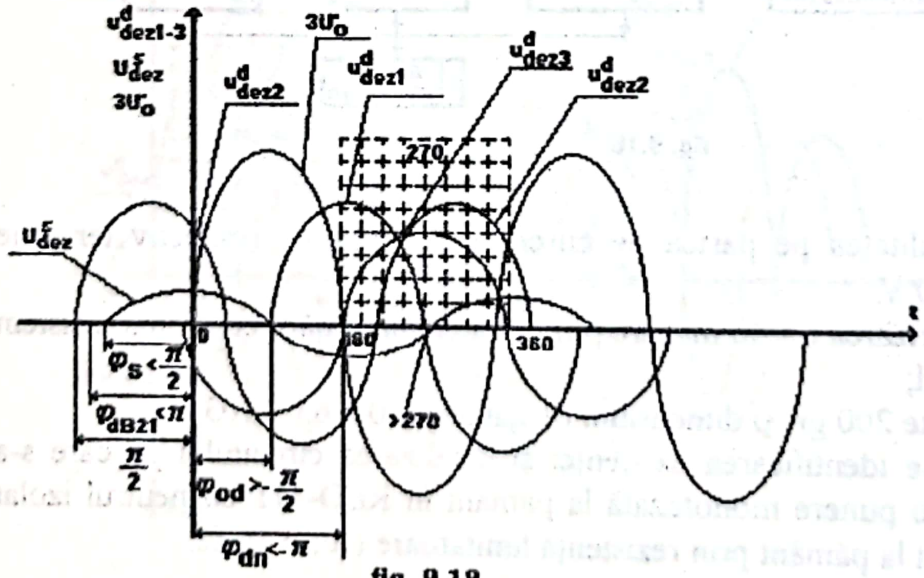


fig. 9.18

Prin efectuarea testării în acest moment, DEHU-2 poate identifica şi localiza o punere monofazată la pământ într-o RED-MT, pentru oricare din modurile de tratare a neutrului, de unde rezultă şi caracterul său universal, cu condiţia ca $I^d_{dez} > 1A, U_0 > 420V$. Are aceleaşi performanţe menţionate şi la celelalte realizări anterioare, determinate de utilizarea circuitelor electronice discrete şi integrate [43].

9.2.2.3. Dispozitiv electronic homopolar universal DEHU-3.

Acest dispozitiv determină defazajul dintre două mărimi ($\underline{U}_0$, $\underline{U}^{S,d}_{dez}$) prin lecturarea semiperioadei negative a mărimii de referinţă ($3U_0$) fig.9.18 cu un semnal de înaltă frecvenţă şi măsurarea timpului (t_1, t_2) după care $\underline{U}_{dez_{1-3}}$ trece prin zero. Prin compararea acestui timp cu unul de referinţă (t_{ref}) stabilit pe seama caracteristicilor regimului de defect monofazat în RED-MT se asigură aplicarea criteriului direcţional pentru oricare mod de tratare a neutrului [43].

Dispozitivul utilizează, în acest scop, o structură logică programabilă, cu un microprocesor Z-80 pe 8 biţi şi o memorie EPROM de 2 Ko în care este înscris programul de lucru. Acesta se bazează pe interdependenţa dintre $\underline{U}_0$ şi $\underline{U}^{S,d}_{dez}$ conform fig.9.19a pentru RED-MT cu neutrul izolat ($\underline{U}_{dez_1}$), $t_1 < t_{ref}$ sau legat la pământ prin rezistenţă limitatoare ($\underline{U}_{dez_3}$) $t_2 > t_{ref}$, respectiv fig.9.19b pentru RED-MT supracompensate ($U^d_{dez\,2}$) $t_1 < t_{ref}$, (U^S_{dez}) $t_2 > t_{ref}$ şi pe organigrama din fig.9.20.

Acest dispozitiv are aceleaşi caracteristici ca şi DEHU-2 la care se adaugă calitatea intrisecă specifică logocii programabile [43].

Scanned with OKEN Scanner

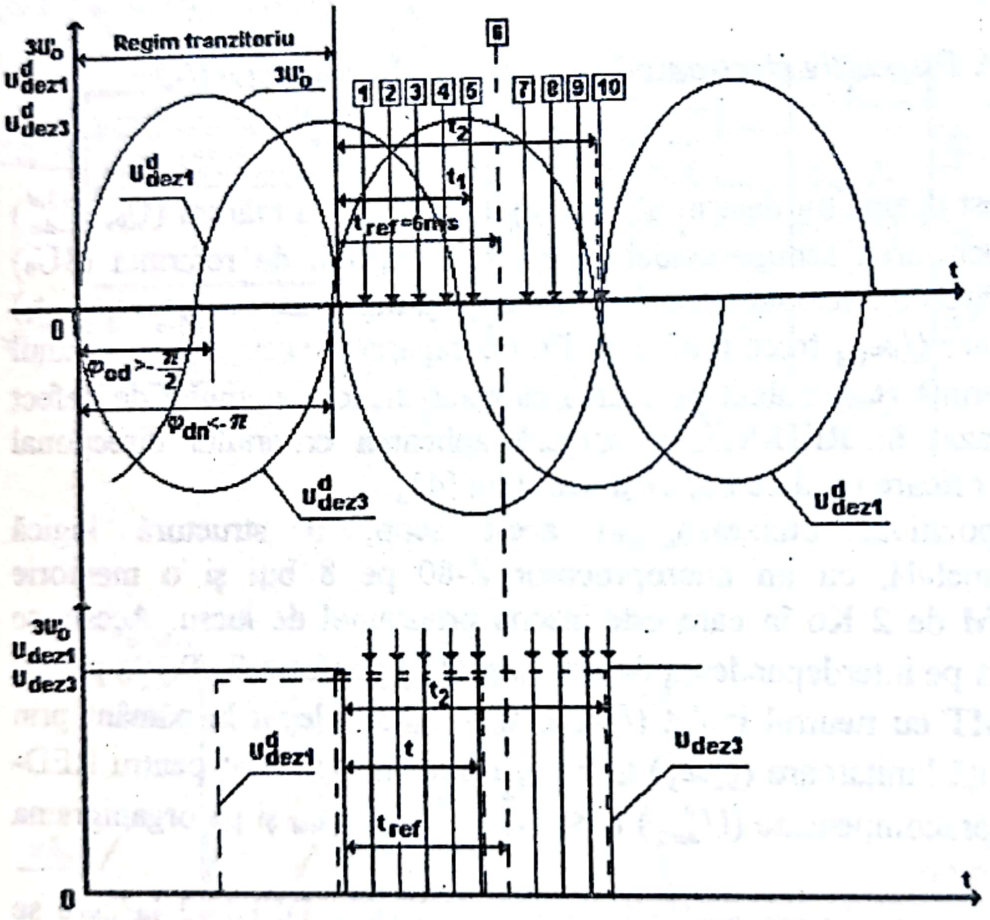


fig. 9.19 - (a)

Scanned with OKEN Scanner

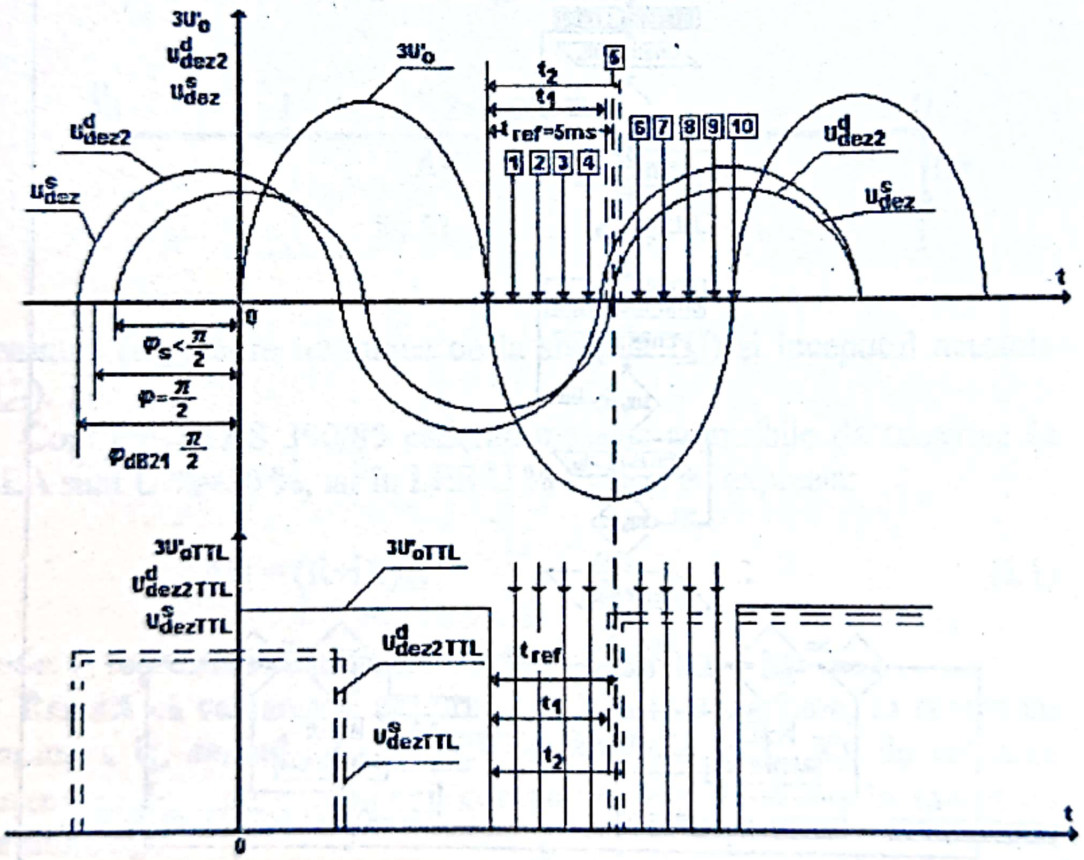


fig. 9.19 - (b)

Scanned with OKEN Scanner

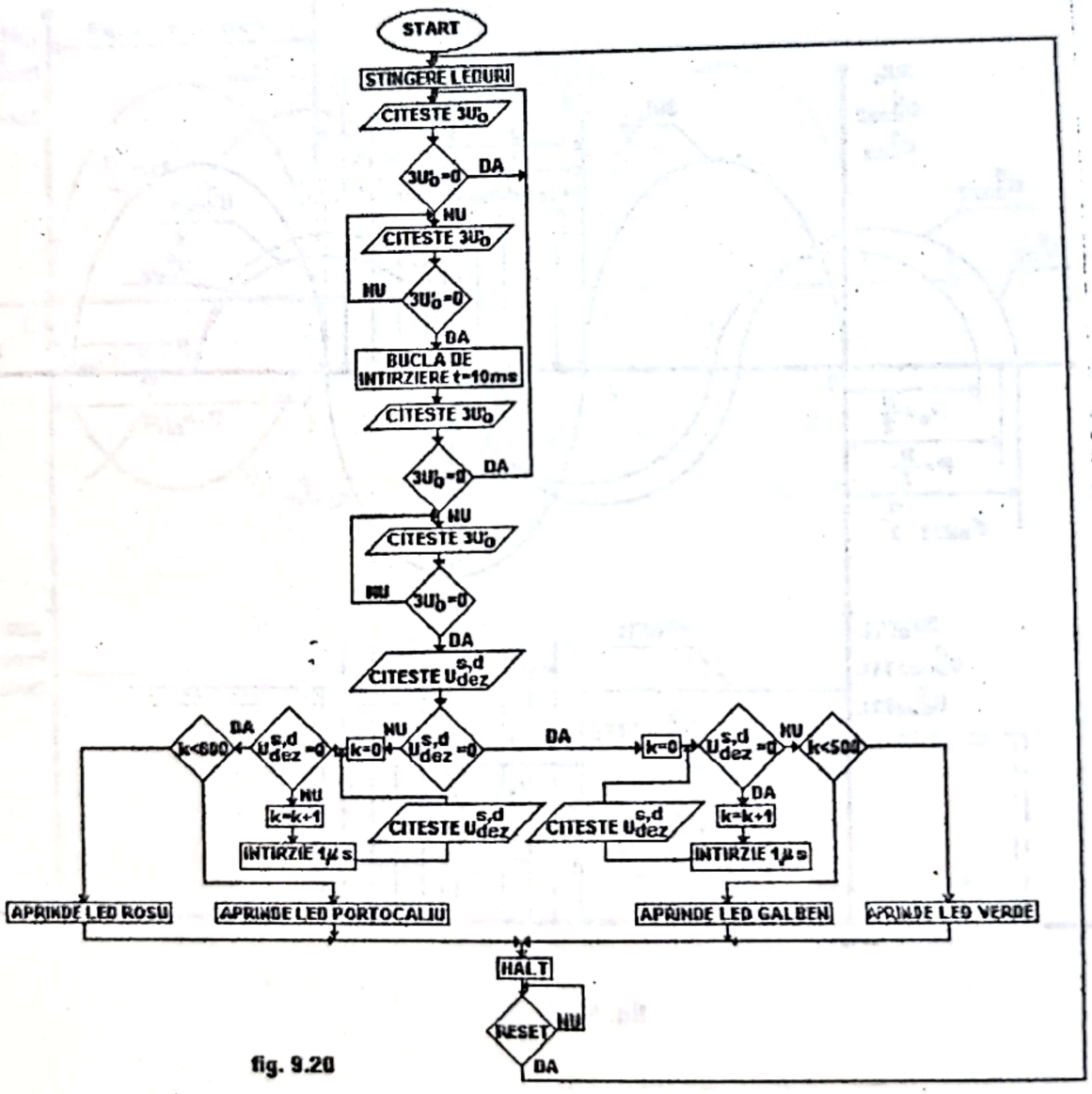


fig. 9.20

Scanned with OKEN Scanner

ANEXA I

CALCULUL ERORII DE UNGHI DINTRE TENSIUNILE DE FAZĂ ÎN LUNGUL UNUI DISTRIBUITOR ÎN REGIM NORMAL ŞI DE PUNERE MONOFAZATĂ LA PĂMÂNT.

Aşa cum este cunoscut, datorită circulaţiei de curenţi printr-o cale de curent (distribuitor), fig.I.1, cu parametrii R,X, rezultă o cădere de

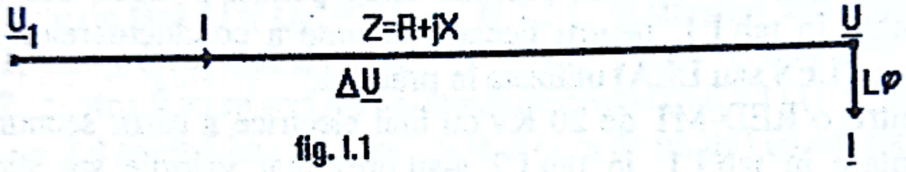


fig. I.1

tensiune ($\Delta\underline{U}$) între tensiunea de la sfârşitul ($\underline{U}$) şi începutul acestuia ($\underline{U}_1$).

Conform STAS 390/85 căderile maxime admisibile de tensiune în LEA sunt U %=10 %, iar în LES U %=5 % şi au expresia:

$$\Delta\underline{U} = (R+jX)\underline{I}_S \qquad (I.1)$$

unde: $\underline{I}_S$ reprezintă curentul de sarcină.

Rezultă că valoarea şi argumentul căderii de tensiune, în raport cu tensiunea $\underline{U}$, depind de parametrii distribuitorului (R,X), de valoarea curentului $\underline{I}_S$ şi de argumentul curentului de sarcină (φ) în raport cu tensiunea $\underline{U}$.

Conform principiului metodei de identificare şi localizare a punerilor la pământ au importanţă eventualele defazaje suplimentare (erori) ce pot interveni, în raport cu defazajele considerate teoretic. De aceea în continuare se vor determina defazajele dintre tensiunile de fază $\underline{U}_R$, $\underline{U}_S$, $\underline{U}_T$ din lungul unui distribuitor, corespunzătoare căderilor admisibile de tensiune, atât în regim normal δ_{Rn}, δ_{Sn}, δ_{Tn} cât şi în regim de punere monofazată la pământ δ_R, δ_S, δ_T.

Scanned with OKEN Scanner

Evident, se vor lua în considerare condiţiile cele mai dificile care, pentru regimul normal sunt: distribuitorul este încărcat la sarcina trifazată simetrică maximă şi concentrată la sfârşitul acestuia; căderea de tensiune are valoarea maximă admisibilă; factorul de putere al sarcinii are valoarea cosφ=0,92, corespunzătoare regimului normal de funcţionare. Din aceste condiţii rezultă lungimea maximă (L_{max}) a distribuitorului reţelei, în ipoteza că are aceeaşi secţiune pe această lungime.

Conform "Instrucţiunilor privind limitele folosirii intensive a liniilor electrice existente în exploatare" IRE-I 164-86 curenţii de sarcină maximi (I_{Smax}) au valoarea cea mai mare pentru T=2000 ore şi sunt prezentaţi în tab.I.1, pentru fiecare secţiune a conductoarelor liniilor electrice (LES sau LEA) utilizate în practică.

Pentru o RED-MT de 20 Kv cu linii electrice a căror secţiuni sunt prezentate în tab.I.1, în tab.I.2 s-au prezentat valorile specifice ale

	LES - sectiuni[mm^2]					LEA - sectiuni[mm^2]				
	50	70	95	120	150	35	50	75	95	120
I_{smax}[A]	235	295	360	425	500	125	155	195	240	285
Lmax [km]	4	4,47	4,8	4,9	5,1	9,72	10	9,94	9,93	2,56
δ_{nmax}	-0,5	-0,31	-0,13	-0,02	-0,21	-0,4	-1,01	-1,75	-2,38	-2,76

tab. I.1

rezistenţelor (r_0) şi ale reactanţelor (x_0), în (Ω/km) [14].

	LES - sectiuni[mm^2]					LEA - sectiuni[mm^2]				
	50	70	95	120	150	35	50	75	95	120
r_0[Ω/km]	0,6	0,42	0,31	0,25	0,20	0,82	0,6	0,42	0,31	0,25
x_0[Ω/km]	0,125	0,12	0,113	0,109	0,105	0,445	0,434	0,432	0,412	0,403

tab. I.2

Impunând căderile de tensiune maxime se determină lungimea (L_{max}) a distribuitorului, din condiţia:

$$|\Delta U_f| = (I_{s\,max}\cos\varphi + jI_{s\,max}\sin\varphi)(r_0 + jx_0)L_{max} = \frac{\Delta U\% \cdot U_f}{100} \quad (I.2)$$

Scanned with OKEN Scanner

unde ΔU% este valoarea maximă admisă şi menţionată anterior, rezultă:

$$L_{max} = \frac{\Delta U\% \cdot U_f}{I_{S\,max}\sqrt{(r_0 \cos\varphi - x_0 \sin\varphi)^2 + (r_0 \sin\varphi + x_0 \cos\varphi)^2}} \cdot \frac{1}{100} \quad (I.3)$$

valorile lungimii L_{max} s-au sintetizat în tab.I.1.

Pe seama valorilor din tab.I.1 şi tab.I.2, ale mărimilor I_{Smax}, L_{max}, r_0, x_0 se poate calcula valoarea maximă a defazajelor, corespunzătoare regimului normal, la sarcina maximă $\varphi_{Rn} = \delta_{Sn} = \delta_{Tn} = \delta_{n_{max}}$ dintre tensiunile de fază $U = |\underline{U}_R| = |\underline{U}_S| = |\underline{U}_T|$, de la sfârşitul distribuitorului, fig.I.1; I.2 şi începutul acestuia $U_1 = |\underline{U}_{1R}| = |\underline{U}_{1S}| = |\underline{U}_{1T}|$, pe seama fig.I.2, pentru fiecare secţiune a conductoarelor (tab.I.1) (valoare care, în contextul acestei lucrări, reprezintă eroare de unghi) cu relaţia:

$$\delta_{n_{max}} = arctg\left[\frac{L_{max} \cdot I_{S\,max}(x_0 \cos\varphi - r_0 \sin\varphi)}{U_f + L_{max} I_{S\,max}(x_0 \sin\varphi + r_0 \cos\varphi)}\right] \quad (I.4)$$

In tab.I.1 s-au înscris şi valorile acestei erori unghiulare care are aceeaşi valoare pe fiecare fază deoarece acestea sunt încărcate simetric. S-a considerat $U = 20/\sqrt{3}$ Kv.

Rezultă că eroarea de unghi, corespunzătoare regimului normal de sarcină maximă, este neglijabilă în RED-MT cu LES şi de aproximativ 3° în cele cu LEA.

I.A. REŢELE DE MEDIE TENSIUNE CU NEUTRUL IZOLAT.

In cazul unei puneri monofazate la pământ într-o RED-MT cu neutrul izolat (de ex. pe faza R) curenţii de circulaţie, pe fiecare conductor de fază, au valorile cele mai mari când rezistenţa $R_D = 0$ şi rezultă din însumarea geometrică a curenţilor de fază, de sarcină maximă ($\underline{I}_{R_{S\,max}}$, $\underline{I}_{S_{S\,max}}$, $\underline{I}_{T_{S\,max}}$), consideraţi simetrici, cu cei determinaţi

de regimul de punere la pământ ($\underline{I}_{R_{0R}}, \underline{I}_{S_{0R}}, \underline{I}_{T_{0R}}$) pe distribuitorii sănătoşi, respectiv ($\underline{I}_{PP_R}, \underline{I}_{S_{0R}}, \underline{I}_{T_{0R}}$) pe distribuitorul cu defect. Din [17] pentru R_D=0, curenţii capacitivi de pe fazele sănătoase se determină din expresiile:

$$\begin{aligned} \underline{I}_{S_{0R}} &= j\omega C_0 \underline{U}_{SP} = j\omega C_0 \underline{U}_{SR} \\ \underline{I}_{S_{0R}} &= j\omega C_0 \underline{U}_{TP} = j\omega C_0 \underline{U}_{TR} \end{aligned} \qquad \text{(I.5)}$$

unde C_0 este capacitatea faţă de pământ a unei faze de pe un distribuitor.

Deoarece valorile curenţilor determinaţi cu (I.5) descresc liniar pe măsură ce ne depărtăm de barele ID-MT, în calculul căderilor de tensiune aceşti curenţi se vor considera prin valorile lor medii, dar amplasaţi la sfârşitul distribuitorului.

Pe faza pusă la pământ (R), între barele ID-MT şi locul punerii la pământ , curentul $\underline{I}_{PP_R}$ are valoarea [17]:

$$\underline{I}_{PP_R} = j\omega C_{\Sigma_0} \cdot \underline{U}_R \qquad \text{(I.6)}$$

unde $C_{\Sigma 0}$ este capacitatea faţă de pământ a întregii reţele.

Pentru calculul căderii tensiunii în regim de punere monofazată la pământ se vor considera condiţiile cele mai dificile şi anume: distribuitorul încărcat cu sarcină maximă, punerea la pământ se produce, pe faza R, la sfârşitul distribuitorului, din ID-MT sunt alimentaţi 13 distribuitori, [30] fiecare având lungimea maximă L_{max}.

In fig.I.3 s-au reprezentat diagramele fazoriale corespunzătoare fiecărei faze a sistemului trifazat; s-a avut în vedere că $\underline{I}_{S_{0R}}$ este defazat cu $\pi/3$ radiani înaintea tensiunii sale de fază $\underline{U}_S$ (fig.I.3,a,d), $\underline{I}_{T_{0R}}$ este defazat cu $2\pi/3$ radiani înaintea tensiunii $\underline{U}_T$ (fig.I.4 b,d) iar $\underline{I}_{PP_R}$ este defazat cu $\pi/2$ radiani înaintea tensiunii $\underline{U}_R$ (fig.I.3 c,d).

Pentru reţelele considerate anterior, tab.I.3, sunt prezentate capacităţile specifice C_0(μF/Km)| 73| pentru LES s-a considerat cablul NAHEBKA de 20 Kv şi valorile curenţilor calculaţi cu (I.5; I.6):

Scanned with OKEN Scanner

$C_0|\mu F/Km|$, |14|.

Pentru erorile de unghi maxime, în acest caz, conform fig.I.2, rezultă expresiile:

$$\delta_{S\max} = arctg \left[\frac{L_{\max}\left[Is_{S\max}(x_0\cos\varphi - r_0\sin\varphi) + \frac{Is_{0R}}{2}(x_0\cos\varphi_1 + r_0\sin\varphi_1)\right]}{Us + L_{\max}\left[Is_{S\max}(r_0\cos\varphi + x_0\sin\varphi) + \frac{I_{0_{0R}}}{2}(x_0\cos\varphi_1 + x_0\sin\varphi_1)\right]} \right] \quad (I.7)$$

pentru faza S, fig.I.3a:

$$\delta_{T\max} = arctg \left[\frac{L_{\max}\left[Is_{T\max}(x_0\cos\varphi - r_0\sin\varphi) + \frac{I_{T_{0R}}}{2}\left[r_0\cos(\varphi_2 - \frac{\pi}{3})x_0\sin(\varphi_2 - \frac{\pi}{3})\right]\right]}{U_T + L_{\max}(r_0\cos\varphi + x_0\sin\varphi)Is_{T\max} - \left[r_0\cos(\varphi_2 - \frac{\pi}{3}) + x_0\sin(\varphi - \frac{\pi}{3})\right]\cdot\frac{I_{T_{0R}}}{2}} \right] \quad (I.8)$$

pentru faza T, fig.I.3b:

$$\delta_{R\max} = arctg \left[\frac{L_{\max}\left[Is_{R\max}(x_0\cos\varphi - r_0\sin\varphi) + I_{pp_{R\max}}\cdot r_0\right]}{U_R + L_{\max}\left[Is_{R\max}(r_0\cos\varphi + x_0\sin\varphi) - I_{pp_{R\max}}\cdot x_0\right]} \right] \quad (I.9)$$

pentru faza R, pusă la pământ, fig.I.3c:

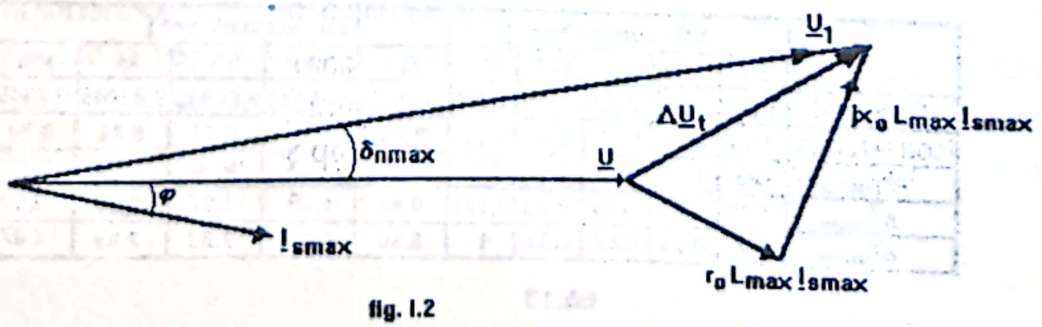


fig. I.2

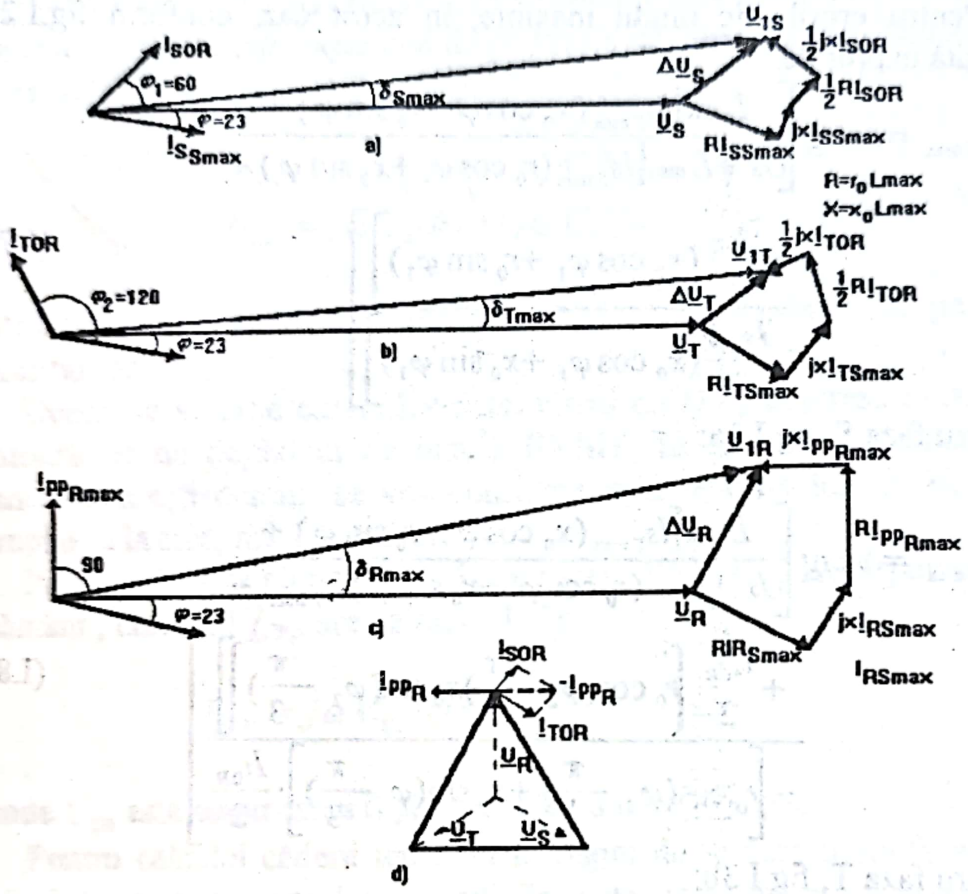


fig. I.3

Deoarece, aşa cum rezultă din expresiile analitice, $\delta_{S\max} > \delta_{T\max}$ s-au calculat numai unghiurile $\delta_{S\max}$ şi $\delta_{R\max}$ şi s-au sintetizat în tab.I.3.

	LES - secţiuni[mm^2]					LEA - secţiuni[mm^2]				
	50	70	95	120	150	35	50	75	95	120
C_0[μF/km]	0,192	0,213	0,22	0,22	0,241	0,0043	0,00433	0,00438	0,00445	0,0045
$I_{SOR}=I_{TOR}$ (A)	4,38	5,98	6,69	7,18	7,26	0,26	0,27	0,27	0,26	0,24
I_{ppRmax} (A)	108	134	150	161	173	5,84	6,10	6,10	5,84	5,45
δ^0_{Smax}	-0,49	-0,30	-0,11	-0,03	0,188	0,45	1,45	1,97	2,61	3,02
δ^0_{Rmax}	0,7	0,75	0,82	0,88	1	0,66	1,32	2,09	2,69	3,07

tab. I.3

Scanned with OKEN Scanner

Evident, pe faza R de pe distribuitorii sănătoşi, eroarea de unghi este cea corespunzătoare funcţionării în regim normal, la sarcină maximă ($\delta_{n\max}$), tab.I.1, deoarece $\underline{I}_{R_{0R}} = 0$.

Obs. Ipotezele de calcul s-au voit cât mai dificile, din punct de vedere al curentului $\underline{I}_{pp_R}$, pentru a justifica, cu atât mai mult, posibilitatea aplicării metodei. In general însă se acceptă funcţionarea unui RED-MT cu neutrul izolat doar dacă curentul de punere la pământ nu depăşeşte 30 A | 14| .

I.B. REŢELE DE MEDIE TENSIUNE CU NEUTRUL LEGAT LA PĂMÂNT PRIN R_N.

In cazul unei puneri la pământ prin rezistenţă R_D de valoare mare ($R_D > R_{Dlim}$) într-o RED-MT cu neutrul legat la pământ (ex. pe faza R la sfârşitul distribuitorului) curentul de punere la pământ are valoarea maximă ($\underline{I}_{pp_{R\max}}$) când $R_D = R_{Dlim}$ [14] şi circulă numai pe faza cu defect; acest curent se însumează geometric cu valoarea maximă a curentului de sarcină, are aceeaşi valoare pe fiecare din cele trei faze.

Valoarea maximă a curentului de punere monofazată la pământ în RED-MT cu neutrul legat la pământ [14] este 150 A în cazul LES şi de 80 A în LEA.

Ca urmare căderile de tensiune şi defazajele dintre tensiunile de la sfârşitul şi începutul distribuitorului, de pe fazele sănătoase, ($\underline{U}_S$ şi $\underline{U}_{1S}$, respectiv $\underline{U}_T$, $\underline{U}_{1T}$) vor avea, în regim de punere monofazată la pământ, valorile $\delta_{n\max}$ corespunzătoare regimului de sarcină maximă, fig.I.2, tab.I.1.

Pentru faza R, pusă la pământ, fig.I.4 este reprezentată diagrama fazorială care conţine, pe lângă curentul de sarcină $\underline{I}_{Smax}$ şi curentul de punere la pământ $\underline{I}_{pp_{R\max}}$, considerat practic în fază cu tensiunea de la locul cu defect ($\underline{U}_R$); defazajul dintre tensiunile $\underline{U}_R$ şi $\underline{U}_{1R}$ care, în contextul acestei lucrări reprezintă eroarea de unghi, s-a notat $\delta_K = \delta_{K\max}$.

Scanned with OKEN Scanner

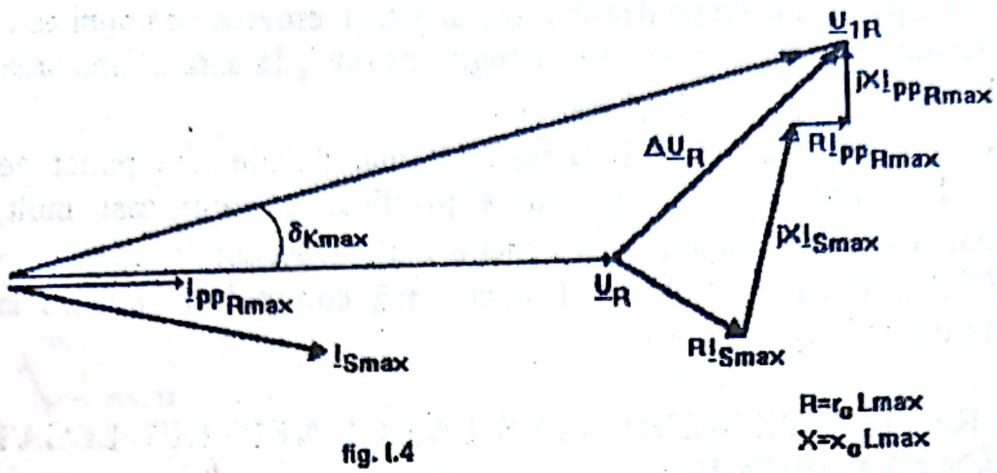


fig. I.4

Pentru eroarea de unghi $\delta_{K\max}$, conform fig. I.4 rezultă expresia

$$\delta_{K\max} = arctg\left[\frac{L_{\max}\left[I_{S\max}(x_0\cos\varphi - r_0\sin\varphi) + I_{pp_{R\max}}\cdot x_0\right]}{U_R + L_{\max}\left[I_{S\max}(r_0\cos\varphi + x_0\sin\varphi) + I_{pp_{R\max}}\cdot r_0\right]}\right] \quad (I.10)$$

In tab.I.4 s-au sintetizat valorile erorii de unghi $\delta_{K\max}$ pentru fiecare secţiune a LES şi LEA.

	LES - secţiuni[mm^2]					LEA - secţiuni[mm^2]				
	50	70	95	120	150	35	50	75	95	120
I_{smax}[A]	235	295	360	425	500	125	155	195	240	295
$I_{pp_{Rmax}}$(A)	150	150	150	150	150	80	80	80	80	80
δ^0_{Kmax}	-0,17	0,15	0,28	0,41	0,57	1,48	2,05	2,76	3,25	4,02

tab. I.4

Evident, în cazul în care $R_D > R_{Dlim}$, valorile erorii de unghi δ_K, vor fi mai mici decât ale erorii maxime $\delta_{K\max}$, tab.I.4, care s-au calculat în ipoteza $R_D = R_{Dlim}$.

Scanned with OKEN Scanner

BIBLIOGRAFIE

1. Albert, H., Florea, I. — Alimentarea cu energie electrică a întreprinderilor industriale. Vol. I+II. E.T. Bucureşti 1987.
2. Antoniu, I.S. — Bazele electrotehnicii. Vol. I-II E.D.P. Bucureşti 1974.
3. Anisimov, A.M. — Instalaţie de semnalizări centrale a punerilor la pământ monofazate. Promâşlenaia Energhetica U.R.S.S. 42, 1986.
4. Almeida, A.I. — Substation interloching and seqvece swtching usi a digital computer I.E.E.E. Trans on PAS Vol 100 nr:6/1981.
5. Asandei, D., Bejan, I. — Releu static de curent cu acţiune direcţională. Volum. Simpozion "Structuri, algoritmi şi dispozitive de conducere a proceselor industriale" I.P.Iaşi 1987.
6. Bălan, Gh. — Influenţa tratării neutrului asupra siguranţei în funcţionarea reţelelor de medie tensiune. Teză de doctorat I.P. Bucureşti 1978.
7. Buhus, P., Comănescu, Gh. — Pentru un schimb de păreri privind retehnologizarea distribuţiei româneşti de energie electrică RENEL 1991.
8. Călin, S., Marcu, S. — Protecţia prin relee a sistemelor electrice. E.T. Bucureşti 1987.
9. Ciobanu, M., Florea, I. — Alimentarea cu energie electrică a marilor consumatori industriali. Energetica. 10/1979.
10. Crişan O. — Sisteme electroenergetice E.D.P. Bucureşti 1979.
11. Cîrţină şi alţii. — Reţele neuronale şi sistem expert în energetică. Ed. Gh. Asachi Iaşi 1994.
12. Dancea, I. — Microprocesoare Ed. Dacia 1979.
13. Gălăţanu, C. Ignat, Jan — La orizont casa inteligentă. Volum. Simpozion: "Instalaţii pentru construcţii şi economia de energie". Iaşi 1993.

Scanned with OKEN Scanner

14. Goia, L.M., Isfann, I., Bălan, Gh., Tănăsescu, A. Tratarea neutrului reţelelor de medie tensiune. E.T. 1985.

15. Guşă, M. Contribuţii la optimizarea tratării neutrului în reţelele de medie tensiune. Teză de doctorat. I.P. Iaşi 1984.

16. Ignat, Jan şi alţii. Aparat entru identificarea punerilor la pământ. Brevet RO 100334/1989.

17. Ignat, Jan. Noi metode şi mijloace de control şi conducere a reţelelor electrice de distribuţie urbane. Teză de doctorat I.P. Iaşi 1992.

18. Ignat, Jan. Conducerea şi exploatarea instalaţiilor de alimentare cu energie electrică. Rotaprint I.P. Iaşi 1992.

19. Ignat, Jan, Gălăţanu, C. Reţele electrice de distribuţie de medie tensiune Rotaprint, Univ.Tehnică Iaşi 1995.

20. Ignat, Jan. On the sensitivity on selectivity of the devices used for the detection and location of the one phase grounding in the power system with insulated neutral. Volum. Simpozion "Tehnici noi în conducerea reţelelor de distribuţie". Iaşi 1992.

21. Ignat, Jan. Some caracteristics of the two-phase ground fault under stabilized condition in the Supply system with neutral earthing. Volum. Sesiunea "Tehnici noi în conducerea reţelelor de distribuţie".Iaşi 1992.

22. Ignat, Jan. Posibilities of locating the two-phases ground fault in the local supply system neutral earthing.Volum. Sesiunea:"Tehnici noi în conducerea reţelelor de reţelelor de distribuţie" Iaşi 1992.

23. Ignat, Jan, Vulcu, Ioan Aspecte privind caracteristicile regimului de defect monofazat în reţele cu neutrul compensat. Volum. SNRE-Suceava 1994.

24. Ignat, Jan, Gălăţanu, C. Continuitatea în alimentarea cu energie electrică, o necesitate a confortului casnic edilitar. Revista INSTALATORUL nr.1/1993.

Scanned with OKEN Scanner

25. Ignat, Jan, Gălăţanu, C. Determinarea domeniilor de variaţie a unor parametri proprii regimului de defect bifazat cu punere la pământ " Conferinţa de electroenergetică " Timişoara 1994.

26. Ignat, Jan. Aplicarea metodei bazată pe controlul defazajelor la identificarea şi localizarea scurtcircuitului monofazat. Culegerea nr.7/93 a Institutului de energetică a Academiei Republicii Moldova.

27. Ignat Jan, Vulcu, I. Posibilităţi actuale de identificare şi localizare a defectului monofazat în reţelele electrice de distribuţie de medie tensiune. Conferinţa de electroenergetică. Timişoara 1994.

28. Ignat, Jan, Gălăţanu, C. Conceperea şi realizarea de echipamente pentru identificarea punerilor la pământ în reţele electrice de medie tensiune. Contract de cercetare ştiinţifică nr.4722/1990. RENEL - FRE Iaşi.

29. Ignat, Jan, ş.a. Dispozitiv pentru identificarea punerilor la pământ. Brevet RO nr. 108204/1994.

30. Ivas, D., Ignat, Jan, ş.a. Conceperea şi proiectarea unor echipamente şi programe pentru conducerea operativă şi controlul sarcinii reţelelor de medie tensiune ale municipiului Iaşi. Contract de cercetare nr.4293/1986 - 1988 cu I.T.C. - filiala Iaşi.

31. Kapecek, I. Transformatoare de măsură. E.T. - Bucureşti 1970.

32. Kratz, G. Contribuţii la utilizarea microcalculatoarelor pentru rezolvarea problemelor de măsurare, protecţie şi reglare în alimentarea cu energie electrică. Teză de doctorat 1986 (In lb. germană).

33. Mereuţă, G., Gayrand, I. Măsuri practice pentru creşterea siguranţei în funcţionare a instalaţiilor electroenergetice industriale. E.T. Bucureşti 1975.

34. Mihuţ, I., Furtunescu,H. Siguranţa în exploatare a instalaţiilor energetice. E.T. Bucureşti 1987.

35. Niţu, V.I. Fiabilitate, disponibilitate, mentenanţă în energetică. E.T. Bucureşti 1987.

36. Poeată, A. ş.a. Transportul şi distribuţia energiei electrice.E P P Bucureşti 1981.

37. Popovici, A. Maşini electrice, Rotaprint I.P. Iaşi.

38. Rűdemberg, R. Fenomene tranzitorii în sistemele electroenergetice. E.T. Bucureşti 1959.

39. Stănciulescu, Fl. Dinamica sistemelor mari. Ed. Academiei R.S R 1982 .

Scanned with OKEN Scanner

40. Suceveanu, I.D. ş.a. Releu electronic pentru protecţie homopolară. Brevet RO 97649/89.
41. Tănăsescu, Al. Contribuţii privind determinarea parametrilor şi repartiţiei curenţilor de scurtcircuit monofazat la reţelele de medie tensiune cu cabluri. Teză de doctorat . I.P. Timişoara.
42. Ulianov, I.S. Regimurile tranzitorii ale sistemelor electrice. E.T. Bucureşti 1967.
43. Vulcu, I. Contribuţii privind instalaţiile de protecţie şi automatizări în sistemele de distribuţie a energiei electrice la marii consumatori din industria chimică.Teză de doctorat.Universitatea Tehnică Cluj-Napoca 1994.
44. PE 501/85. Normativ pentru proiectarea protecţiilor prin relee şi automatizărilor instalaţiilor electrice ale centralelor şi staţiilor.
45. PE 124/1985. Normativ privind alimentarea cu energie electrică a consumatorilor industriali şi similari.
46. PE 109/92. Normativ privind alegerea izolaţiei şi protecţia impotriva supratensiunilor.
47. PE 147/1983. Instrucţiuni de proiectare privind tratarea neutrului reţelelor de medie tensiune
48. I.E.-Ip 35.1-86 Indreptar de proiectare pentru reţelele de medie tensiune cu neutrul legat la pământ prin rezistenţă
49. PE 013/1984. Normativ privind elementele de calcul a siguranţei în funcţionarea instalaţiilor energetice.
50. x x x Regulament de exploatare tehnică a centralelor şi reţelelor electrice . Vol.I;II. ICEMENERG-1979.
51. I.D. - 17/1986. Normativ pentru proiectarea, executarea, verificarea şi recepţionarea instalaţiilor electrice în zone cu pericol de explozie.
52. x x x Conducerea reţelelor de medie tensiune - ETZ Bd.104 (1983) H 6.
53. x x x Lucrări în reţeaua de medie tensiune pentru trecerea la telecomanda prin calculator. Proiect nr. 265/1987 IRIRIEDEET Iaşi.
54. R-783-VII/1986. Post de transformare pentru reţea cu unul sau două transformatoare - Proiect tip.

Scanned with OKEN Scanner

ISBN 973-97286-0-X

Scanned with OKEN Scanner